



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΑΦΟΛΟΓΙΑΣ**

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
& ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Αριθμ. Πρωτοκ.

284

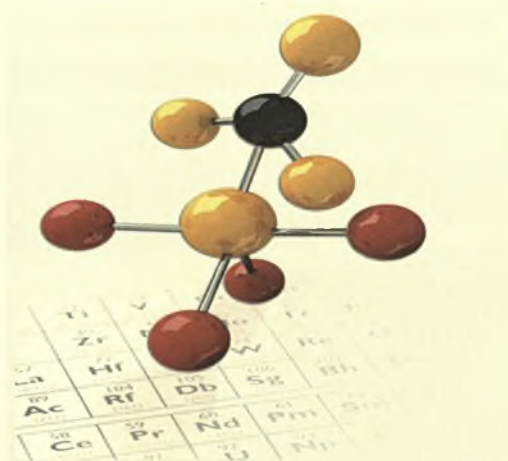
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Θεσσαλονίκη

8-10-2009



<< Σύγκριση μεθόδων προσδιορισμού φωσφορικών ιόντων και αφομοιώσιμου φωσφόρου (με την μέθοδο OLSEN). Απεικόνιση της ρύπανσης στην περιοχή του Αλμυρού Ν. Μαγνησίας, με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. >>



Ξούρα Τριανταφυλλιά

ΒΟΛΟΣ 2009

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΑΦΟΛΟΓΙΑΣ**



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ : ΞΟΥΡΑ ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΙΑ

<< Σύγκριση μεθόδων προσδιορισμού φωσφορικών ιόντων και αφομοιώσιμου φωσφόρου (με την μέθοδο OLSEN). Απεικόνιση της ρύπανσης στην περιοχή του Αλμυρού Ν. Μαγνησίας, με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. >>

Η τριμελής επιτροπή αποτελείται από τους :

**Α. Δημήρκου, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Πανεπιστημίου Θεσσαλίας,
Επιβλέπουσα Καθηγήτρια**

Δρ. Στ. Φλωράς, μέλος Συμβουλευτικής Επιτροπής, Διδάσκων με Π.Δ. 407/80

Δρ. Γκόλια Ε.Ε., μέλος Συμβουλευτικής Επιτροπής, Διδάσκουσα με Π.Δ. 407/80



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

| | |
|----------------------|------------|
| Αριθ. Εισ.: | 7900/1 |
| Ημερ. Εισ.: | 09-12-2009 |
| Δωρεά: | Συγγραφέας |
| Ταξιθετικός Κωδικός: | ΠΤ – ΦΠΑΠ |
| | 2009 |
| | ΞΟΥ |

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θεωρώ υποχρέωση μου να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα Καθηγήτριά μου Α Δημήρκου, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος και διευθύντρια του Εργαστηρίου Εδαφολογίας για την πολύτιμη βοήθεια και αμέριστη συμπαράσταση κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας εργασίας. Η συμβολή της υπήρξε καθοριστική στη συγγραφή και επιτυχή ολοκλήρωση της παρούσας προπτυχιακής διατριβής.

Θερμά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Σταμάτη Φλωρά, μέλος Συμβουλευτικής Επιτροπής, Διδάσκοντα με βάση το Π.Δ 407/80 για την πολύτιμη και ουσιαστική βοήθεια που μου παρείχε με τη διδασκαλία και εκπαίδευση στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών καθώς και για τις σημαντικές διορθώσεις και επισημάνσεις που ήταν απαραίτητες για την ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Δρ. Ευαγγελία Γκόλια, μέλος Συμβουλευτικής Επιτροπής, Διδάσκουσα με Π.Δ. 407/80 που μου συμπαραστάθηκε και ήταν δίπλα μου σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου και με τις χρήσιμες συμβουλές, μου παρείχε πολύτιμη βοήθεια.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε εδαφικά δείγματα που παρελήφθησαν από την ευρύτερη περιοχή του Αλμυρού του Νομού Μαγνησίας έγινε προσδιορισμός του pH, της οργανικής ουσίας, της μηχανικής σύστασης. Επίσης προσδιορισμός των φωσφορικών ιόντων, του διαθέσιμου φώσφορου των εδαφών.

Παράλληλα με τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων των φωσφορικών ιόντων και του διαθέσιμου φωσφόρου πραγματοποιήθηκε και ανάλυση συσχέτισης μεταξύ των συγκεντρώσεων αυτών. Διαπιστώθηκε ότι υπάρχει ισχυρή συσχέτιση καθώς οι συντελεστές συσχέτισης παρουσίασαν υψηλές τιμές σε κάθε μια από τις υποπεριοχές μελέτης. Οπότε είναι δυνατή η πρόβλεψη των τιμών του διαθέσιμου φώσφορου με απλό υπολογισμό της συγκέντρωσης των φωσφορικών ιόντων στα εδαφικά δείγματα της περιοχής μελέτης.

Στη συνέχεια τα στοιχεία των συγκεντρώσεων τόσο για τα φωσφορικά ιόντα όσο και για τις τιμές του διαθέσιμου φωσφόρου περάστηκαν σε βάση δεδομένων του προγράμματος ArcGIS v 9.1 και πραγματοποιήθηκε γεωστατιστική ανάλυση και ανάλυση των δεδομένων βάση μοντέλων του προγράμματος. Τα αποτελέσματα απεικονίστηκαν σε θεματικούς χάρτες όπου δείχνεται η χωρική παραλλακτικότητα των φωσφορικών ιόντων και του αφομοιώσιμου φωσφόρου στην περιοχή του Αλμυρού.

Από τη μελέτη των θεματικών χαρτών που δημιουργήθηκαν παρατηρήθηκε μια αύξηση στη συγκέντρωση των φωσφορικών ιόντων αλλά και του φωσφόρου στις περιοχές όπου απαιτήθηκε εκτεταμένη χρήση φωσφορικών, αλλά και υπερφωσφορικών λιπασμάτων (κυρίως για την κάλυψη των αναγκών στην καλλιέργεια του καπνού).

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|--|-----------|
| ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ..... | 3 |
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ..... | 4 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο - Διαθεσιμότητα του φωσφόρου στο έδαφος | 7 |
| 1.1 Φώσφορος στο έδαφος..... | 7 |
| 1.2 Περιεκτικότητα των εδαφών σε φώσφορο..... | 7 |
| 1.3 Ανόργανος φώσφορος..... | 8 |
| 1.4 Οργανικός Φώσφορος..... | 11 |
| 1.5 Αντιδράσεις των φωσφορικών λιπασμάτων στο έδαφος..... | 13 |
| 1.6 Παράγοντες που επηρεάζουν τη συγκράτηση του φωσφόρου στα εδάφη..... | 17 |
| 1.7 Διάχυση του φωσφόρου στο έδαφος - Πρόσληψη του φωσφόρου από τα φυτά..... | 20 |
| 1.8 Φώσφορος, ποιότητα ύδατος και ευτροφισμός..... | 23 |
| 1.9 Επιδράσεις του φωσφόρου στο περιβάλλον | 23 |
| 1.10 Απομάκρυνση του φωσφόρου από τα εδάφη | 24 |
| 1.11 Μέθοδοι προσδιορισμού του φωσφόρου στο έδαφος..... | 25 |
| 1.12 Ανάλυση του εδάφους για την εκτίμηση της περιεκτικότητάς του σε διαθέσιμα θρεπτικά στοιχεία..... | 27 |
| 1.13 Προϋποθέσεις και στόχοι της εδαφικής ανάλυσης..... | 27 |
| 1.14 Προγράμματα ανάλυσης του εδάφους..... | 29 |
| 1.15 Συσχέτιση και βαθμονόμηση..... | 34 |
| 1.16 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.) | 36 |
| 1.17 Ορισμός του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών | 38 |
| 1.18 Αναφορά σε πρότυπα διαχείρισεως βάσεων δεδομένων, ArcGIS | 40 |
| 1.19 Μεθοδολογία σχεδιασμού βάσεως δεδομένων..... | 40 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - Δειγματοληψία και εργαστηριακές αναλύσεις | 42 |
| 2.1 Δειγματοληψία..... | 42 |
| 2.2 Εργαστηριακές αναλύσεις των εδαφικών δειγμάτων..... | 44 |
| 2.2.1 Προσδιορισμός του pH | 44 |

| | |
|---|------------|
| 2.2.2 Προσδιορισμός της οργανικής ουσίας..... | 45 |
| 2.2.3 Προσδιορισμός της μηχανικής σύστασης του εδάφους..... | 47 |
| 2.2.4 Προσδιορισμός του φωσφόρου σε διάλυμα – μέθοδος Olsen (1954)..... | 49 |
| 2.2.5 Προσδιορισμός της συγκέντρωσης των φωσφορικών ιόντων..... | 53 |
| 2.3 Στατιστική Επεξεργασία Αποτελεσμάτων..... | 55 |
| 2.4 Εφαρμογή της τηλεπισκόπησης..... | 56 |
| 2.5 Ψηφιακοί θεματικοί χάρτες..... | 56 |
| 2.6 Προσδιορισμός λαθών από την ψηφιοποίηση..... | 57 |
| 2.7 Σύστημα προβολής χαρτών..... | 58 |
| 2.8 Εφαρμογή του ArcGIS 9.1 Desktop..... | 59 |
| 2.9 ArcGIS Geostatistical Analyst..... | 59 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Αποτελέσματα – Συζήτηση | 62 |
| 3.1 Αποτελέσματα αναλύσεων των εδαφικών δειγμάτων..... | 62 |
| 3.2 Σύγκριση μεθόδων..... | 83 |
| 3.2 Χάρτες | 85 |
| ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ..... | 90 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ..... | 93 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 100 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο - Διαθεσιμότητα του φωσφόρου στο έδαφος

1.1 Φώσφορος στο έδαφος

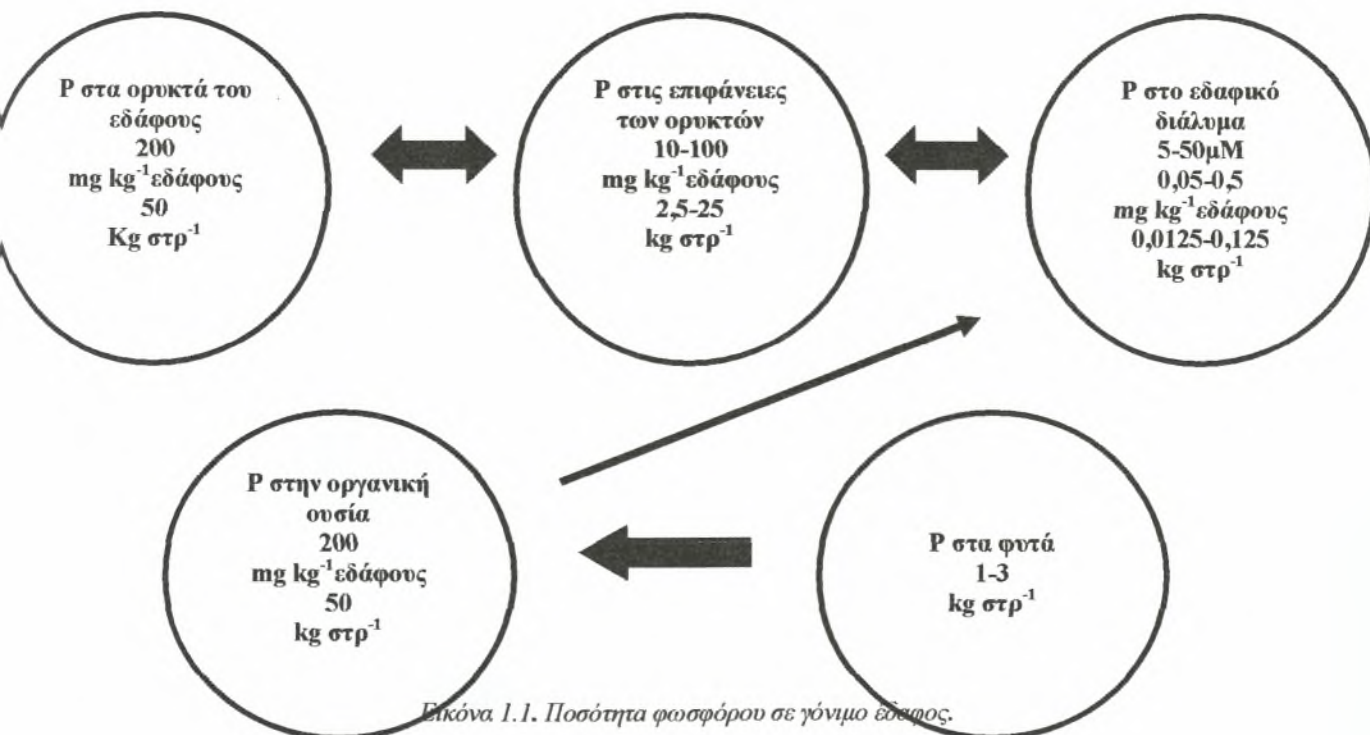


Ο φώσφορος είναι στοιχείο της λιθόσφαιρας σε αναλογία 0,12% του μανδύα της γης (Cathcart B.J., 1980). Εμφανίζεται σε όλα τα πετρώματα, στο νερό και στα φυτικά και ζωικά υπολείμματα και δημιουργεί σύνθετα σύμπλοκα με μεγάλο αριθμό στοιχείων. Περίπου 170 από τα γνωστά ορυκτά περιέχουν τουλάχιστον 0,44% P (Holford, I.C.R., 1997). Στο έδαφος εμφανίζεται σε δύο μορφές ως

οργανικός και ως ανόργανος.

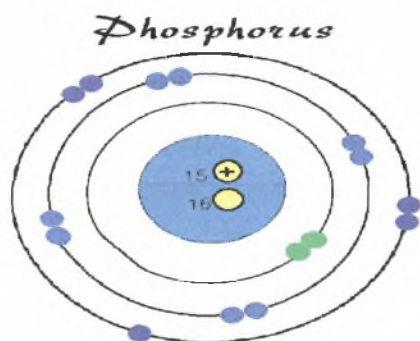
1.2 Περιεκτικότητα των εδαφών σε φώσφορο

Η κατανομή του φωσφόρου μεταξύ των διαφόρων κλασμάτων αυτού παρουσιάζεται στην εικόνα 1.1.



1. *Ορυκτά του φωσφόρου.* Τα πρωτογενή ορυκτά του φωσφορικού ασβεστίου, φωσφορικού σιδήρου και φωσφορικού αργιλίου.
2. *Επιφάνειες των ορυκτών.* Ο φώσφορος δεσμεύεται από τα οξείδια και υδροξείδια του Al και Fe. Τα ορυκτά της αργίλου συγκρατούν το φώσφορο με μηχανισμούς που δεν έχουν ακόμα διερευνηθεί αρκετά. Οι μηχανισμοί αυτοί περιλαμβάνουν δεσμούς με -OH ομάδες στις ακμές του καολινίτη και τον σχηματισμό στις επιφάνειες των ορυκτών πολύ μικρών σωματιδίων από φωσφορικά ορυκτά. Ο φώσφορος δεν φαίνεται να συγκρατείται στα ορυκτά του τύπου 2:1 εκτός αν στις επιφάνειες των ορυκτών αυτών έχουν σχηματισθεί οξείδια ή υδροξείδια του Al και Fe. Σε ασβεστούχα εδάφη ο φώσφορος προσροφάται στις επιφάνειες του ασβεστίτη οπότε σχηματίζεται φωσφορικό ασβέστιο. Ο φώσφορος επίσης εμφανίζεται να σχηματίζει δεσμούς με το Al στις επιφάνειες του χούμου.
3. *Εδαφικό διάλυμα.* Ο φώσφορος στο εδαφικό διάλυμα βρίσκεται κυρίως με τη μορφή H_2PO_4^- και HPO_4^{2-} σ' ένα εύρος τιμών του pH του εδάφους.
4. *Ο φώσφορος στα φυτά.* Ο φώσφορος στα φυτά βρίσκεται κυρίως με την μορφή των οργανικών εστέρων όπου ο P συνδέεται με τον C διαμέσου του O_2 .
5. *Οργανική ουσία.* Η μορφή του οργανικού φωσφόρου αντανακλά τη μορφή του στα φυτά και στους μικροοργανισμούς όπου βρίσκεται κυρίως με τη μορφή οργανικών εστέρων

1.3 Ανόργανος φώσφορος



Η ισχυρή προσρόφηση του φωσφόρου στις επιφάνειες των ορυκτών και η μικρή διαλυτότητα των φωσφορικών ορυκτών σύμφωνα με τον I. Μήτσιο έχει ως αποτέλεσμα την ύπαρξη μικρών συγκεντρώσεων φωσφόρου στο εδαφικό διάλυμα οι τιμές των οποίων κυμαίνονται μεταξύ 1 και 50 μM . Οι τιμές των συγκεντρώσεων του φωσφόρου είναι το ένα δέκατο σε σχέση με τις τιμές του καλίου και το ένα εκατοστό των τιμών των συγκεντρώσεων των NO_3^- . Ο διαλυτός φώσφορος

μετράται με φασματοφωτόμετρο ή χρωματομετρικά μετά την ανάπτυξη του μπλε χρώματος μετά του φωσφορο μολυβδαινικού αμμωνίου

Με την ανόργανη μορφή, ο P δημιουργεί ενώσεις με τα στοιχεία Ca, Fe και Al. Οι ανόργανες ενώσεις του φωσφόρου στο έδαφος κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες:

- Ενώσεις με ασβέστιο (Ca-P)
- Ενώσεις με σίδηρο και αργίλιο (Fe-P και Al-P).

Στη συνέχεια αναφέρονται οι ενώσεις το φωσφόρου του εδάφους που σχηματίζονται ως προϊόντα αντίδρασης φωσφορικών λιπασμάτων με συστατικά του εδάφους.

Ενώσεις με Ca

$3 \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaF}$ (Φθοριοαπατίτης), $3 \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaCO}_3$ (Ανθρακικός απατίτης),
 $3 \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$ (Υδροξυαπατίτης), $3 \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaO}$ (Οξυαπατίτης),
 $3 \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (Φωσφορικό τριασβέστιο), $\text{Ca}_8\text{H}_2(\text{PO}_4)_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (Φωσφορικό οκτασβέστιο)
 $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Φωσφορικό διασβέστιο), $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ (Φωσφορικό μονοασβέστιο)

Ενώσεις με Fe και Al

$\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Στρεγκίτης), $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (Βιβιανίτης), $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Βαρισκίτης)
 $\text{Al}_3(\text{NH}_4)_3 \cdot \text{H}_6(\text{PO}_4)_8 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (NH_4^- Ταρανακίτης), $\text{Al}_3\text{K}_3\text{H}_6(\text{PO}_4)_8 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (Κ-Ταρανακίτη)
(Clellan και Gremillion, 1980)

Οι απατίτες είναι το δέκατο πιο άφθονο ορυκτό στη φύση. Στους απατίτες συγκαταλέγονται τα βασικότερα ασβεστο-φωσφορικά ορυκτά (Phosphate Rocks, PR) με κυριότερα φωσφορικά σύμπλοκα τον φθοριοαπατίτη $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$, τον υδροξυαπατίτη $\text{Ca}_{10}(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_6$ και τον οξυαπατίτη $\text{Ca}_{10}\text{O}(\text{PO}_4)_6$. Τα πιο σπουδαία συστατικά των PR είναι ο χριστοβαλίτης, ο αταπουλγκίτης, ο ασβεστίτης και ο μαγνησίτης, ο αιματίτης και ο μαγνητίτης, ο γκαϊτίτης, ο λειμονίτης, ο γκιψίτης, ο μποεμίτης, ο σιλβίτης, ο ιλμενίτης και διάφορα άλλα.

Από τα πλέον πιο δυσδιάλυτα φωσφορικά ορυκτά είναι οι απατίτες. Ενώ αντίθετα οι απλούστερες ενώσεις Ca-P, δηλαδή το φωσφορικό μονοασβέστιο, και το φωσφορικό διασβέστιο είναι οι πλέον ευδιάλυτες και διαθέσιμες στα φυτά, βρίσκονται όμως σε ελάχιστες ποσότητες, με εξαίρεση τα προσφάτως λιπανθέντα εδάφη. Τα φωσφορικά λιπάσματα περιέχουν το φώσφορο κατά το μεγαλύτερο ποσοστό στη μορφή του υδατοδιαλυτού φωσφορικού μονοασβεστίου. Στο έδαφος οι ευδιάλυτες ενώσεις Ca-P μεταπίπτουν σταδιακά σε πιο δυσδιάλυτες μορφές. Οι ενώσεις των Fe-P και Al-P επικρατούν σε όξινα εδάφη. Τα ορυκτά στρεγκίτης και βαρισκίτης βρίσκονται σε ισχυρώς όξινα εδάφη, σχηματίζονται δε και ως προϊόντα αντίδρασης των φωσφορικών λιπασμάτων με υδροξείδια του Fe και Al.

Το ολικό ποσοστό του φωσφόρου στο έδαφος είναι σχετικά μικρό σε σχέση με τα υπόλοιπα βασικά στοιχεία και κυμαίνεται από 50 έως 1100 mg P ανά Kg εδάφους, ενώ 20-80% των ποσοτήτων του P εντοπίζονται στον οργανικό P των εδαφών (Tisdale et al., 1985, Brady, 1990). Οι μικρές συγκεντρώσεις του φωσφόρου στο εδαφικό διάλυμα, οι τιμές των οποίων κυμαίνονται μεταξύ 1 και 50 μM , οφείλονται στην ισχυρή προσρόφηση του φωσφόρου από τις επιφάνειες των ορυκτών και στη μικρή διαλυτότητα των φωσφορικών ορυκτών. Ο φώσφορος βρίσκεται στο έδαφος σε μεγάλο αριθμό χημικών μορφών. Η ποσότητα του διαθέσιμου P δεν είναι μια διακριτή τιμή για κάθε συγκεκριμένο έδαφος, αλλά διαφέρει ανάλογα με τις συνθήκες του περιβάλλοντος καθώς αυτές επηρεάζουν τις εδαφικές και τις φυτικές παραμέτρους. Το μητρικό υλικό, τα πρωτογενή και δευτερογενή ορυκτά που βρίσκονται στο έδαφος καθώς και το pH, επηρεάζουν τις μορφές με τις οποίες εμφανίζεται ο φώσφορος στο έδαφος.

Η πρόσληψη του φωσφόρου από τα φυτά γίνεται κυρίως με τη μορφή των ιόντων H_2PO_4^- και HPO_4^{2-} με την οποία βρίσκεται στο εδαφικό διάλυμα. Αυτό εξαρτάται από την τιμή του εδαφικού pH. Σε τιμές $\text{pH} < 7$ ο P προσλαμβάνεται ως H_2PO_4^- , σε τιμές $\text{pH} = 7$ προσλαμβάνεται και με τις δύο μορφές H_2PO_4^- και HPO_4^{2-} , ενώ σε τιμές $\text{pH} > 7$ προσλαμβάνεται με τη μορφή PO_4^{3-} . (Oldham L., Mississippi State University, 2003)

Η χαμηλή περιεκτικότητα του εδαφικού διαλύματος σε φώσφορο και η μικρή διαλυτότητα των φωσφορικών συμπλόκων του εδάφους, είναι οι κυριότεροι παράγοντες που μειώνουν τη διαθεσιμότητα του P του εδάφους. Τις τελευταίες δεκαετίες, η συστηματική λίπανση με ανόργανα φωσφορικά λιπάσματα και με οργανικά

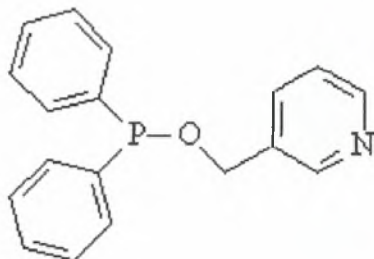
υπολείμματα, έχει ανυψώσει τα επίπεδα του φωσφόρου στα περισσότερα καλλιεργούμενα εδάφη. Τα φωσφορικά πετρώματα που προαναφέρθηκαν είναι η κύρια πηγή για την παρασκευή των φωσφορικών λιπασμάτων.

1.4 Οργανικός Φώσφορος

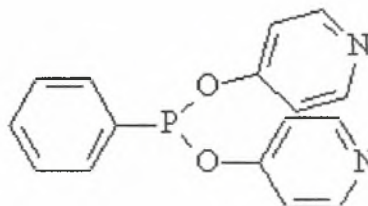
Η οργανική μορφή του P απαντάται στα εδάφη ως συστατικό του χούμου. Ο φώσφορος στην οργανική του μορφή αποτελεί ένα μεγάλο μέρος του συνολικού φωσφόρου στο έδαφος και κυμαίνεται από <10% σε εδάφη με χαμηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία έως και 90% σε εδάφη με υψηλή (Harrison, 1987).

Ο φώσφορος προστίθεται στο έδαφος με τα φυτικά υπολείμματα και με την ανοργανοποίηση της οργανικής ουσίας μετατρέπεται σε ανόργανη μορφή.

Για ένα έδαφος που η περιεκτικότητα αυτού σε οργανική ουσία δε μεταβάλλεται, για παράδειγμα σε καλλιεργούμενες περιοχές, ο λόγος της ποσότητας φωσφόρου στο έδαφος προς την ποσότητα του φωσφόρου που εισρέει ετησίως κυμαίνεται



PCP-31



PHP-42

μεταξύ 0,4 και 0,8 kg P στρ⁻¹. Ο εφοδιασμός του εδάφους με ποσότητες φωσφόρου από αυτήν την πηγή είναι μεγαλύτερος σε συνθήκες κατά τις οποίες μεγάλες ποσότητες οργανικής ουσίας αποσυντίθενται. (Μήτσιος, 2004).

Οι ποσότητες του οργανικού φωσφόρου διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των εδαφών. Οι ποσότητες αυτές χονδρικά συνδέονται με την περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία τόσο μεταξύ των εδαφών όσο και στην εδαφική κατατομή. Η περιεκτικότητα της οργανικής ουσίας σε φώσφορο ποικίλλει. Οι λόγοι του επί τοις εκατό ποσοστού του άνθρακα προς το επί τοις εκατό ποσοστό του αζώτου προς του επί τοις

εκατό ποσοστού του οργανικού φωσφόρου ποικίλλουν σημαντικά, αν και συνήθως ο λόγος του N : οργανικός P κυμαίνεται μεταξύ 10:1 και 10:2 (Barrow, 1961).

Έχει παρατηρηθεί ότι ο λόγος C:P ποικίλλει περισσότερο από το λόγο C:N με πιθανή εξήγηση ότι τα άτομα του αζώτου χημικά συνδέονται με το χουμικό οξύ εντός της δομής του, σε αντίθεση με τον οργανικό φώσφορο που βρίσκεται περιφερειακά στη δομή του χουμικού οξέος. (Μήτσιος, 2004)

Οι χημικές μορφές του οργανικού φωσφόρου περιλαμβάνουν ένα μεγάλο εύρος από φωσφορικούς εστέρες φωσφορολιπιδίων, νουκλεονικών οξέων και φωσφόρου χημικά συνδεδεμένου με το άμυλο (Black and Goring, 1953).

Οι εστέρες του φωσφορικού ινοσίτη προέρχονται από τα διάφορα μικρόβια και μόνο πολύ μικρός αριθμός φωσφορικονινοβίτη προέρχεται από τα φυτικά υπολείμματα.



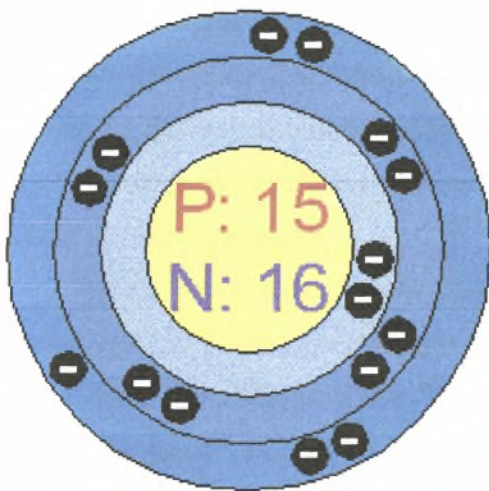
Οι εστέρες του φωσφορικού ινοσίτη υπερισχύουν και αποτελούν σε μερικές περιπτώσεις περισσότερο από το 50% του συνολικού οργανικού φωσφόρου (Turner et al., 2002). Τα νουκλεονικά οξέα περιλαμβάνουν περίπου το 3% (Dalal, 1977), του οργανικού φωσφόρου, ενώ τα φωσφορολιπίδια περιλαμβάνουν περίπου το 1% (Anderson and Malcolm, 1974).. Τα φωσφορολιπίδια προέρχονται από τα φυτά, ζώα και μικρόβια.

Επομένως οι μορφές του οργανικού φωσφόρου στο έδαφος δεν είναι μόνο το αποτέλεσμα της συσσώρευσης του οργανικού φωσφόρου από τα φυτά τα οποία ανθίσταται στην ανοργανοποίηση αλλά μπορεί να προέρχονται και από βιοχημικές μετατροπές οι οποίες μέχρι σήμερα είναι άγνωστες.

Γενικά θεωρείται ότι ο οργανικός φώσφορος στο έδαφος προέρχεται κατευθείαν ή μετά από βιοχημικές μετατροπές από τα φυτικά υπολείμματα και φύλλα στα οποία μέρος του φωσφόρου βρίσκεται με τη μορφή οργανικών ενώσεων.

Η συγκέντρωση του οργανικού φωσφόρου στο έδαφος επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του κλίματος, του εδάφους, της καλλιέργειας και του οργώματος (Stevenson and Cole, 1999).

1.5 Αντιδράσεις των φωσφορικών λιπασμάτων στο έδαφος



Με την εφαρμογή των φωσφορικών λιπασμάτων στο έδαφος και την υδρόλυση που υφίστανται, απελευθερώνεται φώσφορος, ο οποίος αντιδρά με πολλά από τα συστατικά του εδάφους και δημιουργεί δυσδιάλυτες χημικές ενώσεις. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως ακινητοποίηση ή «συγκράτηση» του P (fixation-retention). Το φαινόμενο αυτό έχει μελετηθεί διεξοδικά και με μελέτες που έχουν γίνει προκύπτει ότι

ανόργανος P συγκρατείται από το έδαφος με τους μηχανισμούς της φυσικής προσρόφησης, της χημικής προσρόφησης, της ανταλλαγής ανιόντων, της επιφανειακής κατακρήμνισης και της κατακρήμνισης διάφορων στερεών φάσεων. (Sample, E.C., Soper, R.J. και Racz, G.J., 1980; Morgan, M.A., 1997, Μήτσιος, Ι.Κ., 2004). Με τους προαναφερθέντες μηχανισμούς ο P δημιουργεί ενώσεις και συγκρατείται από τα ένυδρα οξείδια του Fe και του Al, από κάποια αργιλοπυριτικά ορυκτά και από τα ανθρακικά του εδάφους. Σύμφωνα με μελέτες αρκετών ερευνητών εδάφη με υψηλά ποσοστά Al, Fe και Ca μειώνουν σε μεγάλο βαθμό την διαλυτότητα του P στο έδαφος. (Soon and Bates,

1992;Corey, 1992;Lucas et al., 1994;Moore and Miller, 1994;Shreve et al., 1995;Peters and Basta, 1996;Moore et al., 1999;Codling et al., 2000;Haustein et al., 2000;Maguire et al., 2000, 2001). Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τις παραπάνω μελέτες είναι:

Α) Τα υδροξείδια του Fe και του Al είναι άφθονα σε έντονα αποσαθρωμένα εδάφη, με χαμηλή τιμή pH. Εμφανίζονται ως μεμονωμένες χημικές ενώσεις ή συνδεδεμένα με άλλα εδαφικά τεμαχίδια ως επικάλυψη και συγκρατούν στις επιφάνειές τους μεγάλες ποσότητες P (Wild, 1950). Ο μηχανισμός με τον οποίο συγκρατούν τον P είναι πιθανότατα η προσρόφηση.

Ο ερευνητής Bache (1964) μετά από έρευνες που πραγματοποίησε σε εδάφη με γκιψίτη και ένυδρα οξείδια Fe, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ανάλογα με τη συγκέντρωση του P στο εδαφικό διάλυμα έχουμε τρία στάδια προσρόφησης: α) στο πρώτο στάδιο παρατηρείται χημική προσρόφηση μικρής ποσότητας P, με ενέργεια προσρόφησης υψηλή, β) στο δεύτερο στάδιο παρατηρείται κατακρήμνιση διαφόρων χημικών ενώσεων του P και γ) τέλος, στο τρίτο στάδιο, παρατηρείται προσρόφηση P πάνω στο κατακρήμνισμα, με χαμηλή ενέργεια προσρόφησης. Οι παραγόμενες μορφές έχουν γενικό τύπο $(Al,Fe)(H_2PO_4)_n(OH)_{3-n}$ ($n>1$ για τα περισσότερα εδαφικά συστήματα). Σε παραπλήσια αποτελέσματα κατέληξαν επίσης οι Hsu και Rennie (1962) και ο Muljadi et al. (1966a,b,c) μελετώντας όμως την προσρόφηση του P σε каолинίτη, γκιψίτη και ψευδομποεμίτη.

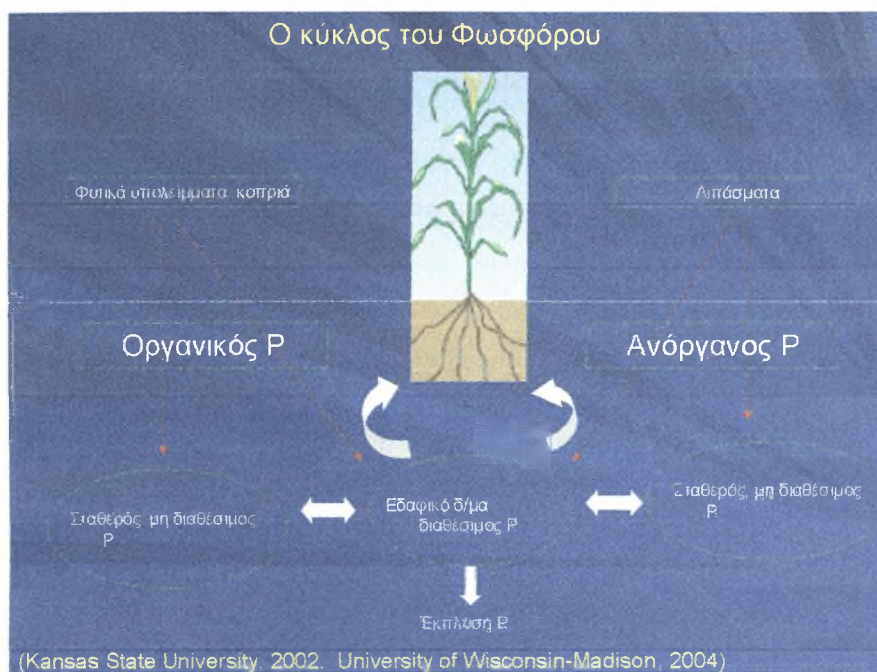
Τελικά, ο φώσφορος συνδέεται πολύ ισχυρά με τα ένυδρα οξείδια του Fe και του Al και πλέον δεν γίνεται πρόσσιτος για τα φυτά. Πολλοί ερευνητές (Hingston et al., 1967, 1968; Nakaru και Uehara, 1972; Sawhney, 1974; Reddy et al., 1998) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι σε εδάφη που περιέχουν μεγάλες ποσότητες ένυδρων οξειδίων του Fe και του Al, λόγω της προσρόφησης του φωσφόρου σε αυτά τα οξείδια, αυξάνεται το αρνητικό φορτίο των κολλοειδών του εδάφους και η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων. Οι περισσότεροι από τους ερευνητές που προαναφέρθηκαν, κατέληξαν επίσης στο συμπέρασμα ότι όταν ο P βρίσκεται σε χαμηλές συγκεντρώσεις, συγκρατείται από τα υδροξείδια με μηχανισμούς προσρόφησης, ενώ όταν βρίσκεται σε υψηλότερες συγκεντρώσεις, ο μηχανισμός συγκράτησης που κυριαρχεί είναι η κατακρήμνιση.

Β) Ο Ρ συγκρατείται επίσης από κάποια άργιλο-πυριτικά ορυκτά. Ο καολινίτης, ο μοντμοριλλονίτης, ο ψευδομοεμίτης, ο ιλλίτης και ο γκιψίτης, όταν περιβάλλονται από διάφορα κατιόντα, συγκρατούν μικρές ποσότητες Ρ, ενώ τα κολλοειδή της αργίλου που περιβάλλονται από δισθενή ιόντα προσροφούν περισσότερο Ρ από αυτά που περιβάλλονται από μονοσθενή ιόντα (Pissarides et al., 1968).

Γ) Τα ασβεστούχα εδάφη είναι πλούσια σε ανθρακικά ορυκτά. Ο βασικός μηχανισμός συγκράτησης του Ρ από τα ανθρακικά είναι η κατακρήμνιση των ασβεστοφωσφορικών ενώσεων. Οι κυριότερες ενώσεις του Ca με τον Ρ είναι το φωσφορικό διασβέστιο $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, το φωσφορικό οκτασβέστιο $\text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, ο υδροξυαπατίτης $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, το CaHPO_4 , το $\text{Mg}_3(\text{NH}_4)_2(\text{HPO}_4)_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgNH}_4\text{HPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, το $\text{MgHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, το $\text{Ca}_2(\text{NH}_4)_2(\text{HPO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, το $\text{Ca}_8\text{H}_2(\text{PO}_4)_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, το $\text{CaNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ και άλλα σύμπλοκα, ανάλογα με το φωσφορικό λίπασμα που προστίθεται στο έδαφος (Lindsay et al, 1962; Larsen et al, 1963; Boruvka and Rechcigl, 2003).

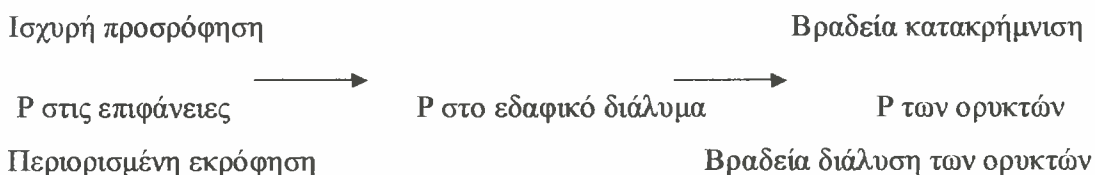
Η προσρόφηση (absorption) του Ρ του εδάφους ακολουθείται από τη φάση της εκρόφησης (desorption), με κύριο χαρακτηριστικό την υστέρηση μεταξύ των δύο αυτών φάσεων (Uehara and Gillman, 1981), η οποία εξαρτάται από τον χρόνο, την αρχική αναλογία προσθήκης του Ρ και τον τύπο των κολλοειδών (Barrow, 1980b).

Οι χαμηλές συγκεντρώσεις του Ρ στο εδαφικό διάλυμα οδήγησαν τις έρευνες στην περιγραφή των σχέσεων του Ρ του εδαφικού διαλύματος, της δεξαμενής δηλαδή από την οποία αντλεί η ρίζα τα θρεπτικά φωσφορικά στοιχεία, με τις άλλες δεξαμενές φωσφόρου που αλληλεπιδρούν με την φάση του Ρ στο εδαφικό διάλυμα (Olsen et al., 1977; Sample et al., 1980). Γενικά, οι μετατροπές του φωσφόρου που εφαρμόζεται στο έδαφος σαν φωσφορικό λίπασμα, καταλήγουν στη δημιουργία μεγάλου αριθμού χημικών τύπων Ρ στο έδαφος και άλλων χημικών αντιδράσεων, που μπορούν να περιγραφούν ως κύκλος του Ρ (Smeck, 1985). Ένα παράδειγμα τέτοιου κύκλου παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.2.



Εικόνα 1.2. Κύκλος του φωσφόρου

Προσρόφηση-εκρόφηση και κατακρήμνιση των ορυκτών-διάλυση των ορυκτών παρουσιάζονται παρακάτω



Μέχρι σήμερα το ενδιαφέρον επικεντρώνονται στις μετατροπές του ανόργανου P, όμως αρχίζει να αυξάνεται και το ενδιαφέρον για τον οργανικό P (Dalal, 1977; Anderson, 1980), στα πλαίσια της προσπάθειας να εξηγηθεί η διαθεσιμότητα του P του εδάφους σαν μέρος του αγρο-οικοσυστήματος (Smeck, 1985).

1.6 Παράγοντες που επηρεάζουν τη συγκράτηση του φωσφόρου στα εδάφη

1) Είδος και ποσότητες διαφόρων συστατικών στο έδαφος

Η ένταση με την οποία γίνονται οι αντιδράσεις προσρόφησης και εκρόφησης του εδαφικού φωσφόρου εξαρτάται από την φύση των επιφανειών οι οποίες έρχονται σε επαφή με τον φώσφορο που βρίσκεται στο εδαφικό διάλυμα.

Οξείδια του σιδήρου και του αργιλίου

Η ύπαρξη των ένυδρων οξειδίων σιδήρου, τα οποία βρίσκονται κυρίως σε έντονα αποσαθρωμένα εδάφη, έχουν την ικανότητα να προσλαμβάνουν πολύ μεγάλες ποσότητες φωσφόρου. Επιπλέον, σε εδάφη με σημαντική περιεκτικότητα σε οξείδια του Fe και του Al, όσο λιγότερο κρυσταλλικά είναι τα οξείδια, τόσο μεγαλύτερη είναι η ικανότητα δέσμευσης των φωσφορικών ιόντων από αυτά λόγω των μεγαλύτερων επιφανειών που παρουσιάζουν. Γενικά, τα κρυσταλλικά ένυδρα μεταλλικά οξείδια έχουν μεγαλύτερη δεσμευτική ικανότητα από τα αργιλοπυριτικά ορυκτά, όσον αφορά το φώσφορο που συγκρατούν.

Ορυκτά της αργίλου

Εδάφη με καολινίτη έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν ή να συγκρατούν μεγαλύτερες ποσότητες φωσφόρου από εδάφη που περιέχουν αργιλικά ορυκτά τύπου 2:1. Τα 1:1 αργιλικά ορυκτά δεσμεύουν μεγαλύτερες ποσότητες φωσφορικών και αυτό οφείλονται πιθανότατα στις μεγαλύτερες ποσότητες ένυδρων οξειδίων του Fe και του Al που συσχετίζονται με τις καολινιτικές αργίλους.

Η περιεκτικότητα σε άργιλο

Στα εδάφη με μεγαλύτερες ποσότητες αργίλου ο φώσφορος δεσμεύεται περισσότερο συγκριτικά με εκείνα που περιέχουν μικρότερες. Επομένως, όσο μεγαλύτερη είναι η

επιφάνεια ενός συγκεκριμένου αργιλικού ορυκτού που είναι εκτεθειμένη στο εδαφικό διάλυμα, τόσο μεγαλύτερη είναι η τάση για συγκράτηση του φωσφόρου από αυτή.

Ανθρακικό ασβέστιο

Το CaCO_3 αποτελεί ένα ακόμα παράγοντα που σε μικρό ποσοστό αυξάνει την ικανότητα των εδαφών να προσροφούν P. Η προσρόφηση αυτή στο ανθρακικό ασβέστιο οφείλεται στις προσμίξεις του με ένυδρα οξείδια του σιδήρου.

Η ποσότητα και η ενεργότητα του CaCO_3 επηρεάζουν τη δέσμευση του φωσφόρου. Μη καθαροί ασβεστίτες αλλά και εκείνοι που παρουσιάζουν μεγάλη ειδική επιφάνεια έχουν ως αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη προσρόφηση του φωσφόρου και τον εξαιρετικά ταχύ σχηματισμό άσβεστο – φωσφορικών κατακρημνισμάτων.

Η δραστηριότητα του φωσφόρου είναι μικρότερη σε εδάφη τα οποία περιέχουν υψηλά ποσοστά Ca^{+2} σε εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα σε πολύ ενεργό CaCO_3 αλλά και σε εδάφη στα οποία η άργιλος είναι κατά ένα μεγάλο ποσοστό κορεσμένη με ασβέστιο.

2) Το pH του εδάφους

Η προσρόφηση του φωσφόρου από τα οξείδια του Fe και του Al μειώνεται, καθώς αυξάνεται το pH του εδαφικού διαλύματος. Ο γκιψίτης [$\gamma\text{-Al}(\text{OH})_3$] προσροφά τις μεγαλύτερες ποσότητες φωσφόρου σε τιμές pH μεταξύ 4 και 5. Η προσρόφηση του φωσφόρου από το γκαιτίτη ($\alpha\text{-FeOOH}$) ελαττώνεται συνεχώς μεταξύ των τιμών pH 3 και 12. Η διαθεσιμότητα του φωσφόρου στα περισσότερα εδάφη είναι μεγαλύτερη όταν το pH κυμαίνεται από 6 έως 6,5. Σε χαμηλές τιμές pH, η συγκράτηση του φωσφόρου είναι αποτέλεσμα της αντίδρασής του με τα ένυδρα οξείδια του Fe και του Al. Σε τιμές pH άνω του 7, τα ιόντα του Ca και του Mg προκαλούν κατακρήμνιση του προστιθέμενου φωσφόρου και η διαθεσιμότητα του ξανά ελαττώνεται.

3) Οργανική ουσία του εδάφους

Σε έρευνες που έχουν γίνει στη Καλιφόρνια αποδείχθηκε ότι οι ενώσεις του οργανικού φωσφόρου μπορούν να μετακινηθούν στα εδάφη σε μεγαλύτερα βάθη από ότι ο διαλυμένος ανόργανος φώσφορος. Ένα εύρος διαφόρων οργανικών ενώσεων του

φωσφόρου μετακινήθηκε 4 με 6 φορές βαθύτερα σε αργιλοπηλώδες έδαφος από ότι μετακινήθηκε ο ανόργανος φώσφορος.

Ο Olsen (USDA, Colorado State University, 1977) παρατήρησε αξιόλογη κίνηση του φωσφόρου προς τα κάτω σε συνέπεια της προσθήκης κοπριάς σε ένα ιλυοαργιλοπηλώδες έδαφος. Συγκεκριμένα, το δεύτερο έτος μετά την εφαρμογή της οργανικής λίπανσης παρατηρήθηκε αύξηση του φωσφόρου σε βάθος 30 έως 60 cm.

Οι Campbell και Racz (University of Manitoba, 1970) παρατήρησαν μεγαλύτερα επίπεδα εκχυλίσιμου φωσφόρου, σε βάθη 120 έως 150 cm, σε ένα έδαφος πλούσιο σε οργανική ουσία από ότι σε παρακείμενο έδαφος.

Η επίδραση στη διαθεσιμότητα του εδαφικού φωσφόρου ορισμένων ενώσεων που προκύπτουν από την αποσύνθεση της οργανικής ουσίας, είναι μεγάλης σημασίας. Αρκετοί ερευνητές έχουν αναφέρει ότι ο χούμος του εδάφους αυξάνει τη διαλυτότητα του φωσφόρου. Αυτό έχει ποικιλοτρόπως αποδοθεί α) στο σχηματισμό φωσφοροχουμικών συμπλόκων τα οποία είναι πιο εύκολα αφομοιώσιμα από τα φυτά β) στην αντικατάσταση των φωσφορικών ανιόντων από τα ιόντα του χούμου, και γ) στην επικάλυψη των σχιστολιθικών τεμαχιδίων από το χούμο και στο σχηματισμό ενός προστατευτικού καλύμματος με αποτέλεσμα τη μείωση της δεσμευτικής (ως προς στο φώσφορο) ικανότητας του εδάφους.

Σε έρευνες στη Μασσαχουσέτη (1996) παρατηρήθηκε ότι συγκεκριμένα οργανικά ανιόντα που προκύπτουν από την αποσύνθεση της οργανικής ουσίας έχουν την ικανότητα να σχηματίζουν σταθερά σύμπλοκα με το Fe και το Al, εμποδίζοντας έτσι την αντίδραση τους με το φώσφορο. Επιπλέον διαπιστώθηκε ότι αυτά τα σύμπλοκα ανιόντα απελευθερώνουν φώσφορο δεσμευμένο από τα Fe και Al με τον ίδιο ακριβώς μηχανισμό. Τα πλέον αποτελεσματικά ανιόντα στην αντικατάσταση των φωσφορικών ιόντων είναι τα κιτρικά, οξαλικά, ταρτρικά και μαλικά, μερικά εκ των οποίων μπορούν να παραχθούν κατά την αποικοδόμηση της οργανικής ουσίας.

Έχει βρεθεί ότι η προσρόφηση του φωσφόρου συνδέεται με την περιεκτικότητα των εδαφών σε οργανικό άνθρακα. Αρχικά υπήρχε η άποψη ότι η προσρόφηση ήταν συνδεδεμένη με την ανταλλαγή των φωσφορικών ιόντων με τις υδροξυλομάδες της οργανικής ουσίας. Πιο πρόσφατα ερευνητικά αποτελέσματα έδειξαν ότι είναι η παρουσία

του αργιλίου και σε μικρότερο βαθμό του σιδήρου που είναι προσροφημένα στην οργανική ουσία του εδάφους και επιδρούν στη προσρόφηση του φωσφόρου.

4) Θερμοκρασία

Σε υψηλές θερμοκρασίες αυξάνεται ελαφρώς η διαλυτότητα ενώσεων όπως οι απατίτης, υδροξυαπατίτης, φωσφορικό οκτασβέστιο, βαρισκίτης και στρεγκίτης. Η ορυκτοποίηση του φωσφόρου από την οργανική ουσία του εδάφους ή από τα φυτικά υπολείμματα εξαρτάται από τη μικροβιακή δραστηριότητα του εδάφους και συνεπώς αύξηση στη θερμοκρασία αναμένεται να προκαλέσει αύξηση αυτής της δραστηριότητας. Τα εδάφη σε θερμά κλίματα έχουν μεγαλύτερη δεσμευτική ικανότητα σε φώσφορο από ότι τα εδάφη μέσης θερμοκρασίας. Τα θερμότερα κλίματα επίσης παραπέμπουν σε εδάφη με μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε υδροξείδια του Fe και του Al.

1.7 Διάχυση του φωσφόρου στο έδαφος - Πρόσληψη του φωσφόρου από τα φυτά

Ο φώσφορος του εδάφους μετακινείται προς τις ρίζες κυρίως με διάχυση (Nye and Tinker, 1977) και λιγότερο με μαζική ροή, 1% περίπου της συνολικής προσλαμβανόμενης ποσότητας (Barber, 1980). Η μετακίνησή του φωσφόρου στις ρίζες των φυτών με διάχυση επηρεάζεται από την ηλικία, το βάθος, το μήκος και την πυκνότητα των ριζών, από τα χαρακτηριστικά προσρόφησης της ρίζας, από τη συγκέντρωση του φωσφόρου στο εδαφικό διάλυμα, από την υγρασία και από το πορώδες του εδάφους και από τη δαιδαλώδη διαδρομή του εδάφους. Καθώς η διάχυση είναι ο κυρίαρχος μηχανισμός εφοδιασμού των φυτών με P, όλοι οι παράγοντες που επιδρούν στη διάχυση (υγρασία, δαιδαλώδες του εδάφους, θερμοκρασία, ρυθμιστική ικανότητα) επιδρούν και στην πρόσληψη του P από τα φυτά (Rowell, et al., 1967). Η διάχυση των φωσφορικών ιόντων στο έδαφος περιγράφεται από την παρακάτω εξίσωση (Nye and Tinker, 1977):

$$D = D_i \theta f_i dC/dC$$

όπου,

D , είναι ο συντελεστής διάχυσης του ιόντος στο εδαφικό διάλυμα (cm^2s^{-1}),

D_i , είναι ο συντελεστής διάχυσης του ιόντος σε ελεύθερο διάλυμα, (cm^2s^{-1}),

θ , είναι το κλάσμα του εδαφικού όγκου που καταλαμβάνει το εδαφικό διάλυμα ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$),

f_l , είναι ένας ανεξάρτητος παράγοντας που σχετίζεται με το δαιδαλώδες του εδάφους,

$\frac{dC_l}{dC} = \frac{1}{b}$, όπου b η ρυθμιστική δύναμη του εδάφους όπως προκύπτει από την ισόθερμη καμπύλη.

Ο συντελεστής διάχυσης του H_2PO_4^- στο καθαρό νερό είναι $0,89 \times 10^{-5} \text{cm}^2 \text{sec}^{-1}$. Ο συντελεστής διάχυσης του H_2PO_4^- στα εδάφη κυμαίνεται από $5 \times 10^{-11} \text{cm}^2 \text{sec}^{-1}$ έως $1 \times 10^{-8} \text{cm}^2 \text{sec}^{-1}$. Τα εδάφη με μεγάλη ρυθμιστική ικανότητα και μικρή συγκέντρωση P στο εδαφικό διάλυμα έχουν τις μικρότερες τιμές συντελεστή διάχυσης (Barber, S., 1980).

Καθώς τα φυτά προσλαμβάνουν P από το εδαφικό διάλυμα διαταράσσεται η κατάσταση της χημικής ισορροπίας του φωσφόρου, οπότε για να αποκατασταθεί η ισορροπία αυτή πρέπει να αποδεσμευτούν ποσότητες P από τις επιφάνειες των ορυκτών στις οποίες είναι προσροφημένος. Δεδομένου όμως ότι ο συντελεστής διάχυσης του P στο εδαφικό διάλυμα λαμβάνει μικρές τιμές, η αποκατάσταση της ισορροπίας αυτής συμβαίνει σε μεγάλο χρονικό διάστημα.

Τα φυτά προσλαμβάνουν το P από το εδαφικό διάλυμα με τη μορφή φωσφορικού ιόντος και κυρίως με τη μορφή H_2PO_4^- και HPO_4^{2-} . Η συγκέντρωση και το είδος του φωσφορικού ιόντος εξαρτάται από την τιμή του pH. Σε $\text{pH}=7,22$ οι ποσότητες των δύο μορφών είναι ίσες, ενώ σε μικρότερες τιμές pH η κυρίαρχη μορφή είναι το H_2PO_4^- (Barber, S., 1980).

Ο ρυθμός πρόσληψης του H_2PO_4^- από το ριζικό σύστημα φαίνεται να ακολουθεί την εξίσωση κινητικής ενζυματικής κατάλυσης των Michaelis-Menten (Epstein, 1972). Η σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης του H_2PO_4^- στο εδαφικό διάλυμα και της εισροής του H_2PO_4^- μέσα στη ρίζα, εκφράζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$I = I_{\max} \frac{C}{K_m + C}$$

όπου, I είναι η ταχύτητα εισροής του P στις ρίζες, I_{\max} είναι η μέγιστη ταχύτητα, C είναι η συγκέντρωση του ιόντος στο διάλυμα και K_m η σταθερά Michaelis-Menten που ισούται με C όταν $I=0,5 I_{\max}$.

Η συγκέντρωση του P στο εδαφικό διάλυμα επηρεάζει σημαντικά τους ρυθμούς πρόσληψης του από τα φυτά. Η συγκέντρωση του P στο εδαφικό διάλυμα διαφέρει ευρέως στα διάφορα εδάφη. Σε πολύ φτωχά εδάφη η συγκέντρωση του P είναι μικρότερη από 10^{-8}M , σε μέτρια και αποσαθρωμένα εδάφη είναι περίπου 10^{-6}M και σε πλούσια, εφοδιασμένα εδάφη είναι μεγαλύτερη από 10^{-4}M (Russel, E.W., 1973). Όταν η συγκέντρωση του P στα εδαφικά διαλύματα είναι 10^{-5}M (0,3 ppm P) και όταν όλοι οι άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη του φυτού βρίσκονται σε ικανοποιητικά επίπεδα, τότε είναι ικανοποιητική η ανάπτυξη των περισσότερων φυτών. Αυτή η συγκέντρωση είναι προφανώς πολύ χαμηλή και δείχνει ότι ο P βρίσκεται σε μικρές ποσότητες στο εδαφικό διάλυμα, οπότε για να έχουμε σωστό εφοδιασμό των φυτών με P πρέπει ο P που απομακρύνεται με τα φυτά στη διάρκεια μιας καλλιεργητικής περιόδου να αντικαθίσταται με P προερχόμενο από τις άλλες διαθέσιμες μορφές του P στο έδαφος.

Η πρόσληψη των θρεπτικών στοιχείων από τη ρίζα του φυτού έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή των χημικών ιδιοτήτων του εδάφους στη ριζόσφαιρα. Όταν το ριζικό σύστημα προσλαμβάνει περισσότερα κατιόντα απ'ότι ανιόντα τότε εκκρίνει H^+ και η τιμή του pH στη ριζόσφαιρα μειώνεται, με αποτέλεσμα την αύξηση της διαλυτότητας του P, ενώ στην περίπτωση που η ρίζα προσλαμβάνει περισσότερα ανιόντα απ'ότι κατιόντα τότε εκκρίνει OH^- και HCO_3^- και η τιμή του pH υψώνεται με αποτέλεσμα την μείωση της διαλυτότητας του P (Barber, S., 1980, Μήτσιος, 2004).

Με τη λίπανση των καλλιεργειών με φωσφορικά λιπάσματα προστίθενται ποσότητες P στο έδαφος. Γενικά, οι ετήσιες καλλιέργειες προσλαμβάνουν P, σε ποσοστό περίπου 5-30% από τα φωσφορικά λιπάσματα. Οι ποσότητες του διαθέσιμου P στο έδαφος συγκεντρώνονται στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους (5-30cm) λόγω της ισχυρής συγκράτησής του P από διάφορα εδαφικά σύμπλοκα, του μικρού συντελεστή διάχυσης και της απορροφητικής δύναμης των ριζών που αναπτύσσονται σε αυτό το βάθος. Ο P του εδάφους έχει υπολειμματική δράση για μεγάλο χρονικό διάστημα (Russel, E.W., 1973; Sample, E.C., et al, 1980; Barrow, N.J., 1980).

1.8 Φώσφορος, ποιότητα ύδατος και ευτροφισμός

Ο φώσφορος θεωρείται ότι είναι ένας παράγοντας ευτροφισμού των λιμναίων συστημάτων γλυκών νερών. Στον πίνακα 1.1 παρουσιάζονται παράγοντες ευτροφισμού μεγάλων λιμνών της Ελλάδος. Ο ΕΟCD (1982) έχει καθορίσει τις μέσες περιεκτικότητες ολικού φωσφόρου στους σχηματισμούς γλυκού ύδατος στους οποίους αντιστοιχούν με αυξημένη πιθανότητα οι καταστάσεις ολιγοτροφισμού, μεσοτροφισμού, ευτροφισμού και υπερτροφισμού. Οι περιεκτικότητες είναι αντιστοίχως 25, 75, 90 και 1000 μg ολικού P ανά λίτρο.

Το κατώτατο όριο περιεκτικότητας σε P των λιμναίων υδάτων που ευνοεί τη γρήγορη αύξηση του φυτοπλαγκτού (φωτοσυνθετικών μονοκύτταρων φυκών) είναι τα 20 μg ανά λίτρο αν η βιοδιαθεσιμότητα του P είναι επαρκής και με τη προϋπόθεση επάρκειας του αζώτου και των άλλων απαραίτητων θρεπτικών. Η βιοδιαθεσιμότητα του ολικού φωσφόρου των υδάτων εξαρτάται από τα φυσικοχημικά του κατάσταση και ειδικότερα από την υδατοδιαλυτότητα του.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπίσει ποιοτικά κριτήρια του ύδατος για οικιακή χρήση με την οδηγία “ποσίμου ύδατος” (Drinking water Directive 80/778/EEC), η οποία καθορίζει ως το ανώτατο αποδεκτό όριο τα 5000 μg P_2O_5 (ή 2200 μg P ανά λίτρο) με συνιστώμενη τιμή τα 400 μg P_2O_5 .

Οι Johnson και Roulton (1997), παρατηρούν ότι στα ύδατα αποστράγγισης των εδαφών που καλλιεργούνται, μια συγκέντρωση του ολικού φωσφόρου 20 μg L⁻¹ (αρκετή για την έναρξη ευτροφισμού) είναι φαινόμενο σύνηθες, διότι αντιστοιχεί σε απώλεια μόνο 0,05 kg P ha⁻¹ με όγκο αποστραγγιστικού ύδατος ύψους 250 mm.

1.9 Επιδράσεις του φωσφόρου στο περιβάλλον

Οι αρνητικές επιπτώσεις του P στο περιβάλλον σχετίζονται με τη ρυπογόνο δράση του στοιχείου αυτού στα υδατικά οικοσυστήματα (λίμνες και παράκτιες θαλάσσιες περιοχές) καθώς και στην ποιότητα του πόσιμου νερού, όταν η συγκέντρωσή του υπερβεί ορισμένα όρια. Σε γεωργοκτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις οι εισροές φωσφόρου στο

οικοσύστημα είναι αυξημένες προερχόμενες από την αλόγιστη χρήση των χημικών λιπασμάτων, τη ζωική κόπρo αλλά και τα κτηνοτροφικά απόβλητα. Τα βιομηχανικά φωσφορικά λιπάσματα ελέγχονται για την περιεκτικότητα αυτών σε βαρέα μέταλλα προερχόμενα από τις φυσικές πρώτες ύλες (φωσφορικά ορυκτά) παραγωγής των λιπασμάτων.

1.10 Απομάκρυνση του φωσφόρου από τα εδάφη

Η απομάκρυνση του φωσφόρου διαμέσου του ύδατος μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους (Ryden et al., 1973, Morgan, 1997):

1. Υδατοδιαλυτός φώσφορος ή και τεμαχιδιακός φώσφορος που απομακρύνεται από το έδαφος με την επιφανειακή απορροή του ύδατος και με τη διάβρωση του εδάφους, έπειτα από έντονες βροχοπτώσεις.
2. Υδατοδιαλυτός φώσφορος ή και τεμαχιδιακός φώσφορος παρασυρόμενος με το καθοδικό ρεύμα του νερού των βροχοπτώσεων, το οποίο κινούμενο διαμέσου του εδάφους καταλήγει σε ρυάκια ή ποτάμια, χωρίς να φτάσει στον κύριο υπεδάφιο υδροφόρο ορίζοντα (υπεδάφια απορροή – subsurface runoff).
3. Υδατοδιαλυτός φώσφορος ή και τεμαχιδιακός φώσφορος, που απομακρύνεται με έκπλυση (leaching), δηλαδή παραλαμβάνεται από το καθοδικό ρεύμα του νερού του εδάφους, φτάνει στον υδροφόρο ορίζοντα και διηθείται σε ρυάκια, ποτάμια ή λίμνες.

Τα ορθοφωσφορικά ιόντα που είναι προσροφημένα σε ανόργανα ή οργανικά τεμαχίδια παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ποσοστό (60-90%) του φωσφόρου που απομακρύνεται από τα εδάφη (Sharpley et al., 1992, Sharpley και Recolainen, 1997). Το σύνολο των μορφών αυτών μαζί με τις δυσδιάλυτες χημικές ενώσεις του φωσφόρου αποτελούν το δυσδιάλυτο φώσφορο (Particulate P-PP) σε αντίθεση με το διαλυτό φώσφορο (Dissolved P-DP). Τα όρια του δυσδιάλυτου φωσφόρου που βρίσκονται στην υδρόβια μικροχλωρίδα κυμαίνεται, από 10% μέχρι και 90% (Sharpley και Recolainen, 1997).

Διάφορες μελέτες έχουν εστιάσει στη μόλυνση των υδάτινων οδών από των φώσφορο, μέσο της επιφανειακής απορροής και της διάβρωσης (Sharpley et al., 1994; Sharpley, 1995; Hawkins and Scholefield, 1996; Eghball and Gilley, 1999; Gburek et al.,

2000). Ο φώσφορος συσσωρεύεται στο επιφανειακό έδαφος από την εφαρμογή των λιπασμάτων και την υπερβολική λίπανση και γίνεται πιο διαλυτός και κινητικός προς τους υδάτινους όρους (Hergert et al., 1981; Baker and Laflen, 1982; Sharpley et al., 1984; Sharpley and Smith, 1989; Gaynor and Bissonnette, 1992; Scott et al., 1998).

Οι μικρές τιμές του φωσφόρου στο εδαφικό διάλυμα από 0,5 έως 50μM (εικόνα 1.1) δείχνουν ότι μικρές ποσότητες φωσφόρου μπορούν να απομακρυνθούν με έκπλυση. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα πειραμάτων που έγιναν στη Δανία, η μετακίνηση του φωσφόρου στα βαθύτερα στρώματα της εδαφικής κατατομής είναι πολύ μεγαλύτερη σε αμμώδες έδαφος παρά σε αμμοπηλώδη εδάφη.

Η έκπλυση του υδατοδιαλυτού φωσφόρου είναι μεγάλη μετά από διαδοχικές λιπάνσεις, σε εδάφη που περιέχουν λίγη άργιλο (Daniel et al., 1998; Sims et al., 1998). Η συσσώρευση του φωσφόρου στο επιφανειακό έδαφος, μπορεί ενισχύσει την διήθησή του, προς τα κατώτερα στρώματα του εδάφους και τα υπόγεια νερά (Heckrath et al., 1995; Sharpley, 1995; Pote et al., 1996). Στα ελαφριάς σύστασης εδάφη, οι απώλειες του φωσφόρου από διήθηση αποδίδεται στην χαμηλή προσρόφηση του, λόγω της έλλειψης των υδροξειδίων του Fe και του Al στα εδάφη αυτά (Khiari et al., 2000).

Πολυετή πειράματα στο Rothamsted παρέχουν σαφείς ενδείξεις περί καθοδικής μετακίνησης του φωσφόρου με την πάροδο του χρόνου κάτωθεν του βάθους αρόσεως (Johnson και Poulton, 1997).

1.11 Μέθοδοι προσδιορισμού του φωσφόρου στο έδαφος

Για τον προσδιορισμό του διαθέσιμου P του εδάφους, πολλές μέθοδοι εκχύλισης του P έχουν αναπτυχθεί, με διάφορα εκχυλιστικά διαλύματα, που συσχετίζονται επαρκώς με την πρόσληψη του P σε ελεγχόμενα περιβάλλοντα και παρέχουν δείκτες του διαθέσιμου P (Kampanth and Watson, 1980). Υπάρχουν αρκετοί συμβατικοί μέθοδοι προσδιορισμού του φωσφόρου του εδάφους. Η κάθε μέθοδος έγκειται στη φύση του εκχυλιστικού διαλύματος που χρησιμοποιείται για παραλαβή του φωσφόρου από το έδαφος (πίνακας 1.2). η καταλληλότητα των μεθόδων για τον προσδιορισμό του φωσφόρου εξαρτάται από τις ιδιότητες του εδάφους (πίνακας 1.3)

Στη παρούσα εργασία η μέθοδος προσδιορισμού που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του φωσφόρου στο έδαφος είναι η μέθοδος Olsen. Στην Ελλάδα επικρατούν κυρίως τα ουδέτερα και τα αλκαλικά εδάφη, η δε συνηθέστερη μορφή του φωσφόρου στο έδαφος είναι του φωσφορικού ασβεστίου. Η μέθοδος Olsen ανταποκρίνεται σε αυτές τις συνθήκες εδαφών καλύτερα από τις άλλες μεθόδους.

Επιπροσθέτως στη Ελλάδα έως τώρα ο προσδιορισμός του διαθέσιμου φωσφόρου γίνεται κυρίως με την μέθοδο Olsen. Επομένως για την καλύτερη σύγκριση των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας με άλλες εργασίες, προτιμήθηκε να γίνει ανάλυση των εδαφικών δειγμάτων για τον προσδιορισμό του διαθέσιμου φωσφόρου με την μέθοδο Olsen.

Πίνακας 1.2. Μέθοδοι προσδιορισμού του φωσφόρου του εδάφους και τα εκχυλιστικά διαλύματα αυτών(Μήτσιος 2004)

| Μέθοδος | Εκχυλιστικά διαλύματα |
|--------------------|--|
| Morgan | 0.7N CH ₃ COONa + 0.54N CH ₃ COOH, pH = 4.8 |
| Bray P1 | 0.03N NH ₄ F + 0.025N HCl |
| Bray P2 | 0.03N NH ₄ F + 0.1N HCl |
| Mehlich No.1 | 0.05N HCl + 0.025N H ₂ SO ₄ |
| Olsen | 0.5N NaHCO ₃ , pH = 8.5 |
| AB-DTPA | 1M NH ₄ CO ₃ + 0.005M DTPA, pH = 7.6 |
| Mehlich No.3 | 0.2N CH ₃ COOH + 0.015N NH ₄ F + 0.25N NH ₄ NO ₃ + 0.013N HNO ₃ + 0.001M EDTA |
| Χλωριούχο ασβέστιο | 0.01M CaCl ₂ .2H ₂ O |

Πίνακας 1.3. Η καταλληλότητα των μεθόδων για τον προσδιορισμό του φωσφόρου του εδάφους εξαρτάται από τις ιδιότητες του εδάφους (Μήτσιος 2004)

| Μέθοδος | Έδαφος που εφαρμόζεται για τον προσδιορισμό του φωσφόρου |
|--------------|---|
| Morgan | Όξινα εδάφη με C.E.C. < 10meq/100g |
| Bray P1 | Όξινα εδάφη (pH _{H20} <6.8) με μέτρια κοκκομετρική σύσταση |
| Bray P2 | Όξινα εδάφη στα οποία η κύρια πηγή φωσφορικών λιπασμάτων είναι οι φωσφορίτες και το κύριο κλάσμα φωσφόρου του εδάφους είναι οι διάφορες μορφές φωσφορικού ασβεστίου |
| Mehlich No.1 | Όξινα εδάφη (pH _{H20} <6.5) με C.E.C. < 10meq/100g και μικρή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία < 5% |

| | |
|--------------------|--|
| Olsen | Ασβεστούχα, αλκαλικά ή ουδέτερα εδάφη στα οποία ο φώσφορος του εδάφους βρίσκεται σε διάφορες μορφές φωσφορικού ασβεστίου |
| AB-DTPA | Ο εκχυλίσσιμος φώσφορος με τη μέθοδο AB-DTPA έχει υψηλό συντελεστή συσχέτισης με τον εκχυλίσσιμο φώσφορο της μεθόδου Olsen |
| Mehlich No.3 | Για μεγάλο εύρος όξινων εδαφών με εκχυλίσσιμο φώσφορο που συσχετίζεται πολύ καλά με τον εκχυλίσσιμο φώσφορο της μεθόδου Bray P1 σε ασβεστούχα, αλκαλικά και ουδέτερα εδάφη |
| Χλωριούχο ασβέστιο | Για όλες τις κατηγορίες εδαφών |

Δειγματοληψία και εργαστηριακές αναλύσεις

1.12 Ανάλυση του εδάφους για την εκτίμηση της περιεκτικότητάς του σε διαθέσιμα θρεπτικά στοιχεία

Ανάλυση του εδάφους σημαίνει κάθε φυσικός ή χημικός προσδιορισμός που γίνεται σε ένα έδαφος, που οι στόχοι του μπορεί να είναι ποικίλοι και συχνά αστικής ή περιβαλλοντικής κατεύθυνσης.

Σύμφωνα με τον Μήτσιο (2004), η ανάλυση του εδάφους είναι το κύριο ,διαγνωστικό εργαλείο που στην απλούστερη μορφή της έχει καθαρά ποιοτικό χαρακτήρα, ενώ η πλέον προχωρημένη μεθοδολογία έχει χαρακτήρα ποσοτικό. Με την ποιοτική μέθοδο μπορεί να διαγνωστεί μόνο η φύση του προβλήματος δηλαδή αν προκύπτει έλλειψη ή πλεονασματικότητα ενός ή περισσότερων θρεπτικών στοιχείων.

Οι ποσοτικές μέθοδοι προσδιορίζουν συγχρόνως και το μέγεθος του προβλήματος, αντιστοίχως δε τις ποσότητες των θρεπτικών στοιχείων που πρέπει να προστεθούν στο έδαφος για την αντιμετώπιση προβλημάτων.

1.13 Προϋποθέσεις και στόχοι της εδαφικής ανάλυσης

Περιγράφονται από τον Μήτσιο (2004) και αφορούν κάθε φυσικό ή χημικό προσδιορισμό που γίνεται σε ένα έδαφος, που οι στόχοι του μπορεί να είναι ποικίλοι και

συχνά αστικής ή περιβαλλοντικής κατεύθυνσης.

Για το χαρακτηρισμό της γονιμότητας όμως του εδάφους δεν λαμβάνεται υπόψη μόνο ο φυσικοχημικός του χαρακτήρας αλλά πρωτίστως η περιεκτικότητά του σε διαθέσιμα θρεπτικά στοιχεία (soil testing). Στον όρο soil testing δεν περιλαμβάνεται μόνο η ανάλυση του εδάφους για τον προσδιορισμό της διαθεσιμότητας των θρεπτικών στοιχείων αλλά και η αξιολόγηση του αναλυτικού αποτελέσματος με σκοπό τη σύσταση της ενδεικνυόμενης λιπαντικής αγωγής. Τελικώς, με τη διαπίστωση της περιεκτικότητας του εδάφους σε θρεπτικά στοιχεία (soil testing) ακολουθεί η συμβουλευτική λίπανση (fertilizer recommendations).

Σκοπός της ανάλυσης του εδάφους είναι:

- Η εκτίμηση με ακρίβεια του βαθμού επάρκειας των εδαφικών θρεπτικών στοιχείων.
- Η ενημέρωση των παραγωγών για τη σοβαρότητα της έλλειψης ή της περίσσειας ενός θρεπτικού στοιχείου ή πολλών θρεπτικών στοιχείων σε σχέση με τις απαιτήσεις της καλλιέργειας.
- Η εκτίμηση των λιπαντικών αναγκών της καλλιέργειας
- Η έκφραση των αποτελεσμάτων με τρόπο ώστε να είναι εφικτή η οικονομική αξιολόγηση των παρεχόμενων συστάσεων ή συνταγών λιπάνσεως.

Με την ανάλυση του εδάφους επιδιώκεται η εκτίμηση του βαθμού διαθεσιμότητας ή διαφορετικά η εκτίμηση του διαθέσιμου κλάσματος των εδαφικών θρεπτικών στοιχείων.

Τονίζεται ότι η εδαφική ανάλυση ρουτίνας αποτελεί ημιποσοτική μεθοδολογία. Δηλαδή, δεν είναι σε θέση να προσδιορίσει επακριβώς το διαθέσιμο κλάσμα, αλλά απλώς το προσεγγίζει. Με την εδαφοανάλυση ρουτίνας επιδιώκεται η προσέγγιση μιας ποσότητας (ή κλάσματος) θρεπτικού στοιχείου ώστε η μεταβολή του διαθέσιμου κλάσματος να βρίσκεται σε αντίστοιχη μεταβολή της παραγωγικής συμπεριφοράς μιας καλλιέργειας. Η τρέχουσα πρακτική σημασία του όρου διαθέσιμο κλάσμα έχει μεγάλη σημασία. Όμως στην πράξη περιπλέκεται η ακριβής συσχέτιση του αποτελέσματος της ανάλυσης του εδάφους και της παραγωγικής συμπεριφοράς της καλλιέργειας καθότι δεν είναι προκαθορισμένη η σχέση αυτή.

Η συσχέτιση αυτή θα πρέπει να διαπιστωθεί με πειραματισμό. Ο πειραματισμός αποτελεί τη βασική προϋπόθεση για τη βαθμονόμηση (calibration) της αντίστοιχης μεθόδου εδαφικής ανάλυσης. Η καταλληλότητα της μεθόδου εδαφικής ανάλυσης εξαρτάται από τις ειδικές συνθήκες του εδάφους (φυσικές, χημικές και ορυκτολογικές). Επίσης η βαθμονόμηση διαφέρει κατά περίπτωση και εξαρτάται όχι μόνο από την αναλυτική μέθοδο αλλά και από το είδος της καλλιέργειας ως και από άλλες συνθήκες. Για το λόγο αυτό τα αποτελέσματα των εδαφοαναλύσεων πρέπει να συνδυάζονται με αναλύσεις φύλλων και φυτικών ιστών (φυλλοδιαγνωστική)

1.14 Προγράμματα ανάλυσης του εδάφους

Κάθε πρόγραμμα ανάλυσης του εδάφους μπορεί να περιλάβει τις εξής φάσεις διεξαγωγής: (Ι) δειγματοληψία εδάφους (ΙΙ) προπαρασκευή των εδαφικών δειγμάτων (ΙΙΙ) ανάλυση των εδαφικών δειγμάτων (ΙΥ) συσχέτιση και βαθμονόμηση (Μήτσιος, 2003).

Δειγματοληψία εδάφους στον αγρό

Βασικός σκοπός της δειγματοληψίας του εδάφους είναι η συγκέντρωση των απαραίτητων πληροφοριών για τη μελέτη της γονιμότητας του εδάφους και ειδικότερα για τη συγκέντρωση όλων εκείνων των επιστημονικών πληροφοριών που αφορούν τη μελέτη των προβλημάτων θρέψης των φυτών, της λίπανσης των καλλιεργειών, τη διερεύνηση των χημικών, φυσικών και βιολογικών παραμέτρων του εδάφους που θα αξιοποιηθούν για να στηριχθεί η ακολουθητέα λιπαντική αγωγή, καθώς και την πολιτική που είναι απαραίτητη να εφαρμοσθεί προκειμένου να αποφευχθούν προβλήματα ρύπανσης των εδαφών, από νιτρικά και νιτρώδη ιόντα καθώς και από τα ρυπογόνα στοιχεία Cd, Pb, Se, Cr, As, Ni, Hg, κλπ. (Rowell, 1995, Μήτσιος, 2004).

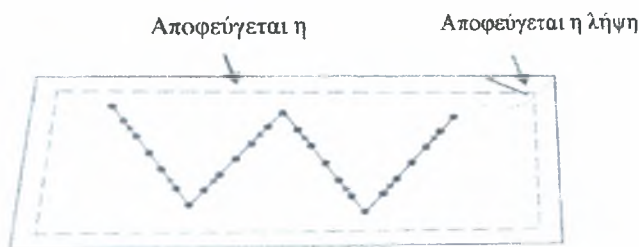
Έτσι τα δείγματα του εδάφους λαμβάνονται με ειδικούς δειγματολήπτες που διαφέρουν στο μέγεθος και στη σχεδιάσή τους. Οι δειγματολήπτες περιστρέφονται και πιέζονται για να εισέλθουν στο έδαφος και στη συνέχεια λαμβάνονται δείγματα εδάφους

από το επιθυμητό βάθος π.χ. 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm ή 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm ανάλογα τους σκοπούς της δειγματοληψίας (βαθύρριζα φυτά, επιπολαιόρριζα φυτά, δενδρώδεις καλλιέργειες).

Τα δείγματα εδάφους αναπόφευκτα διαταράσσονται σε διάφορο βαθμό οπότε οι παρατηρήσεις που γίνονται σ' αυτά όπως το χρώμα, η μηχανική σύσταση οι πέτρες, οι ρίζες από τα φυτά το βάθος της εδαφικής κατατομής, καταγράφονται για το χαρακτηρισμό του εδάφους. Η δομή του εδάφους στις περιπτώσεις αυτές είναι αδύνατον να χαρακτηριστεί εκτός αν τα δείγματα του εδάφους είναι αδιατάρακτα.

Πρέπει να συνταχθεί το Soil Sampling Plan ενώ κατά τη δειγματοληψία πρέπει να τηρείται το Soil Sampling Protocol. Πριν από τη δειγματοληψία η επιφάνεια του εδάφους καθαρίζεται από τα χόρτα, τις πέτρες και από τα φυτά. Για να αποφευχθούν επιμολύνσεις από τις συνεχείς κατακόρυφες δειγματοληψίες πρέπει να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα για τον καθαρισμό του δειγματολήπτη από το έδαφος και στη συνέχεια ο δειγματολήπτης να εισέρχεται στο όρυγμα (τομή) που διανοίχτηκε για να ληφθεί δείγμα εδάφους από μεγαλύτερο βάθος.

Προκειμένου να ληφθούν αντιπροσωπευτικά δείγματα από έναν αγρό κρίνεται απαραίτητο να ληφθούν δείγματα ακολουθώντας διαδρομή σχήματος W ή X ή random (εικόνα 1.3).



Εικόνα 1.3 Λήψη δειγμάτων εδάφους στον αγρό.

Οι Wagner, Theocharopoulos et al. (2001) μελέτησαν τα λάθη σε διάφορα ίδια δειγματοληψίας και μεταχείρισης του εδαφικού δείγματος ενώ οι Theocharopoulos et al. (2001) παρουσιάζουν τις European Soil Sampling Guidelines for Soil Pollution. Κατά τη δειγματοληψία πρέπει να αποφεύγεται η λήψη δειγμάτων εδάφους από θέσεις ή σημεία του εδάφους που οι ιδιότητες του εδάφους διαφέρουν από τις πραγματικές ιδιότητες του εδάφους του αγρού, έτσι δε λαμβάνονται δείγματα) θέσεις που βρίσκονται πλησίον των εισόδων και των γωνιών που δημιουργούν οι γεωργικοί ελκυστήρες κατά την άρωση, από

θέσεις πλησίον οδών, στραγγιστικών τάφρων ή αρδευτικών αυλακιών. Αν σε κάποια σημεία προστέθηκαν μεγάλες ποσότητες ασβέστης ή μεγάλες ποσότητες λιπασμάτων επίσης δε λαμβάνονται δείγματα εδάφους.

Η θέση των σημείων δειγματοληψίας είναι ιδιαίτερα σημαντική για την περαιτέρω εργασία. Στην ιδανική περίπτωση, τα δείγματα για τη χαρτογράφηση θα πρέπει είναι ακανόνιστα κατανεμημένα στην περιοχή. Ένα κανονικό δίκτυο δειγματοληψίας μπορεί να προκαλέσει λάθη, εκτός εάν συμπίπτει με ένα κανονικό σχηματισμό της επιφάνειας, όπως κανονικά διατεταγμένα δένδρα.

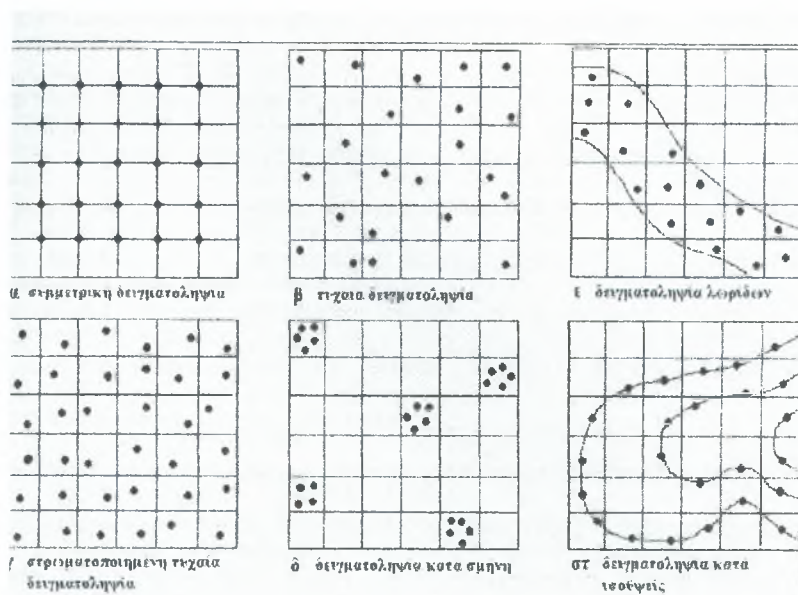
Η τελείως τυχαία δειγματοληψία έχει επίσης ορισμένα μειονεκτήματα. Πρώτον, μεμονωμένο σημείο πρέπει να ορίζεται ακριβώς χωρικά, ενώ σε ένα κανονικό πλαίσιο για να εντοπιστεί η θέση ενός σημείου απαιτείται μόνο η θέση της αρχής, διεύθυνση και οι αποστάσεις των γραμμών - στηλών. Αυτό είναι ευκολότερο σε μια δασώδη περιοχή ή σε ένα δύσκολο ανάγλυφο ακόμη και με τη χρησιμοποίηση GPS. Δεύτερον, τέλεια τυχαιοποίηση μπορεί να οδηγήσει σε μη επιθυμητή κατανομή των ιών, εκτός αν μετρηθούν πάρα πολλά. σημεία, γεγονός απαγορευτικό λόγω κόστους.

Μια συμβιβαστική λύση μεταξύ της τελείως τυχαίας και της κανονικής δειγματοληψίας δίνεται από τη στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία (stratified random sampling) όπου τα μεμονωμένα σημεία τοποθετούνται τυχαία μέσα σε κανονικά τμήματα.

Η δειγματοληψία κατά σμήνη (clustered) ή κατά φωλιές μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ερευνηθεί η χωρική παραλλακτικότητα σε πολλές διαφορετικές κλίμακες. Η κανονική δειγματοληψία κατά λωρίδες (transect sampling), συχνά χρησιμοποιείται για την έρευνα των ποταμών, των ακτών και των κλιτύων των λόφων. Η δειγματοληψία κατά τις ισοϋψείς (contour lines) είναι μια συνηθισμένη μέθοδος δειγματοληψίας για την κατασκευή ψηφιακών προτύπων εδάφους (ΨΠΕ).

Το support είναι ένας τεχνικός όρος που χρησιμοποιείται στη γεωστατιστική για να περιγράψει το εμβαδόν ή τον όγκο του φυσικού δείγματος στον οποίο γίνονται μετρήσεις. Όταν δεδομένα που συλλέγονται με ένα δεδομένο support, χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των τιμών των ίδιων μεταβλητών σε θέσεις που δεν υπάρχουν μετρήσεις, τότε οι υπολογισμοί αναφέρονται σε θέσεις που έχουν επίσης το ίδιο support εκτός εάν χρησιμοποιηθούν διαδικασίες που συσχετίζουν τις παρατηρήσεις με μεγαλύτερες επιφάνειες ή όγκους. Οι διαδικασίες αυτές καλούνται upscaling διαδικασίες.

Κύρια η μέθοδος και το σχήμα δειγματοληψίας καθορίζονται από το σκοπό της δειγματοληψίας (Theochaopoulos et al., 2001) ενώ θα πρέπει να λαμβάνονται πάντοτε υπόψη οι χαρτογραφικές μονάδες αν και η δειγματοληψία κανάβου με κατάλληλη ερμηνεία μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα. (Theochaopoulos et al., 1996)



Εικόνα 1.4. Οι κυριότεροι τρόποι δειγματοληψίας που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή χωρικών δεδομένων. (Πηγή: Φλωράς Σ., 2004)

Ο αριθμός των δειγμάτων αποτελεί βασικό παράγοντα μείωσης της ανομοιομορφίας του εδάφους και βελτίωση της ακριβείας των αποτελεσμάτων. Ο αριθμός των δειγμάτων εξαρτάται από την ομοιομορφία εδαφικής μάζας (βάθος, ανάγλυφο και φυσικά χαρακτηριστικά).

Εξαιτίας της μεγάλης ανομοιομορφίας του εδάφους δημιουργήθηκε η ανάγκη της ταξινόμησης των εδαφών σε διάφορες χαρτογραφικές μονάδες που η καθεμία χαρτογραφική μονάδα διαφέρει από τις άλλες ως προς τα βασικά χαρακτηριστικά (μηχανική σύσταση, βάθος χρώμα ιδιομορφία του εδάφους, CaCO_3 , pH κλπ.).

Οι παράγοντες που καθορίζουν τον αριθμό των δειγμάτων που θα ληφθούν από τον αγρό είναι οι εξής:

- ο Ο βαθμός της ακρίβειας
- ο Ο βαθμός ομοιομορφίας του εδάφους
- ο Ο ειδικός σκοπός της ανάλυσης
- ο Το βάθος της δειγματοληψίας

- Η έκταση της περιοχής από την οποία θα ληφθούν τα δείγματα του εδάφους
- Ο οικονομικός παράγοντας
- Η εργαστηριακή υποδομή

Από την εμπειρία που αποκτήθηκε για έκταση 2-5 στρεμμάτων συνήθως λαμβάνονται 2-3 μικτά δείγματα εδάφους. Όταν η δειγματοληψία γίνεται για πρώτη φορά λαμβάνονται τρία δείγματα. Το επιφανειακό δείγμα (0-30 cm) προέρχεται από 5 δείγματα ή από ένα μικτό επιφανειακό δείγμα, στη συνέχεια λαμβάνονται δείγματα από βάθος 30-60 cm και από βάθος 60-90 cm. Η συχνότητα της δειγματοληψίας εξαρτάται από την ομοιομορφία του εδάφους από το είδος της καλλιέργειας ως και το βαθμό της εντατικοποίησης της καλλιέργειας.

Για κηπευτικά υπό κάλυψη η δειγματοληψία γίνεται δυο φορές το χρόνο. Στις μεγάλες καλλιέργειες και στις δενδρώδεις καλλιέργειες η δειγματοληψία του εδάφους γίνεται μια φορά το χρόνο. Κατά τη δειγματοληψία του εδάφους θα πρέπει να αποφεύγονται μολύνσεις από διάφορα μέταλλα στις περιπτώσεις που το δείγμα του εδάφους χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό διαφόρων μικροθρεπτικών π. χ. Ζη, Μη, CU, Mo, B.

Στις περιπτώσεις αυτές κρίνεται απαραίτητο να αποφεύγεται η χρήση εργαλείων ή δοχείων από γαλβανισμένο μέταλλο, μαλακό σίδηρο ή μπρούτζο. Επίσης τα δείγματα του εδάφους πρέπει να τοποθετούνται σε πλαστικές σακούλες. Σημειώνεται ότι δεν υπάρχει αποδεκτός τρόπος δειγματοληψίας του εδάφους για να ληφθούν πληροφορίες σχετικά με την ανομοιογένεια του εδάφους σε μια περιοχή (Webster and Oliver, 1990). Τα αποτελέσματα των δειγματοληψιών επηρεάζονται και από άλλους παράγοντες όπως

- Το βάθος της δειγματοληψίας
- Τα σύνθετα δείγματα λαμβάνονται από σημεία ή περιοχές που έχουν ανομοιομορφία
- Η λήψη σύνθετων δειγμάτων από ομοιόμορφες περιοχές αλλά με διαφορετικό ιστορικό ασβέστωσης
- Η διαφορετική περιεκτικότητα σε οργανική ουσία των διάφορων δειγμάτων
- Μερικές φορές τα δείγματα του εδάφους περιέχουν μαλακά πετρώματα
- Η λήψη δειγμάτων εδάφους από περιοχές όπου έγινε ανομοιόμορφη εφαρμογή

λιπασμάτων ή και υλικών ασβέστωσης.

- ο Σε συνθήκες ξηρασίας δε διαλύονται στο έδαφος τα λιπάσματα που προστίθενται
- ο Η προετοιμασία των δειγμάτων ή η κατεργασία αυτών σε μολυσμένο περιβάλλον ή σε ακατάλληλα σκεύη
- ο Η κακή συσκευασία του δείγματος

Μερικές φορές γίνονται λάθη στην τοποθέτηση των καρτών στις πλαστικές σακούλες συσκευασίας με αποτέλεσμα να μη γίνεται η σωστή περιγραφή των εδαφικών δειγμάτων. Οι Wagner et al. (2001) παρουσιάζουν μία συγκριτική δειγματοληψία εδαφών μεταξύ 15 ερευνητικών ινστιτούτων και Α.Ε.Ι. της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

1.15 Συσχέτιση και βαθμονόμηση

Κάθε μέθοδος ανάλυσης του εδάφους πρέπει να συσχετιστεί (correlation) με πειραματικά δεδομένα αγρού και να γίνει βαθμονόμηση (calibration) της μεθόδου αυτής, διαφορετικά η ερμηνεία των αποτελεσμάτων δεν θα έχει αξία για λιπαντικές αγωγές. Η συσχέτιση εκφράζει το βαθμό της συμμεταβολής μεταξύ εργαστηριακού αποτελέσματος και πρόσληψης του θρεπτικού στοιχείου από φυτά σε πειράματα δοχείων.

Με τη διαδικασία αυτή αξιολογείται η μέθοδος ανάλυσης του εδάφους και κατά πόσο αυτή η μέθοδος εκφράζει τη διαθεσιμότητα ενός θρεπτικού στοιχείου του εδάφους. Η βαθμονόμηση αφορά στην αμοιβαία ποσοτική σχέση μεταξύ της ανάλυσης του εδάφους και παραγωγικού αποτελέσματος μιας καλλιέργειας. Η συσχέτιση και βαθμονόμηση απαιτούν χημικές αναλύσεις με διάφορα εκχυλιστικά και πειραματισμό για κάθε καλλιέργεια και περιοχή.

Η βαθμονόμηση μιας μεθόδου ανάλυσης του εδάφους έχει ως σκοπό τον καθορισμό διαφορετικών βαθμίδων ποσοτικής επάρκειας. Η πιο στοιχειώδης ημιποσοτικής φύσεως βαθμονόμηση, είναι ο καθορισμός ενός ορίου επάρκειας (sufficiency limit) που αναφέρεται ως και κρίσιμη στάθμη (critical level). Άνωθεν του ορίου επάρκειας οι καλλιέργειες δεν αντιδρούν παραγωγικά στην πρόσληψη του θρεπτικού στοιχείου, ενώ όταν η τιμή από την ανάλυση του εδάφους είναι κάτωθεν του ορίου επάρκειας αναμένεται απώλεια της παραγωγής, η οποία αποφεύγεται μόνο με την

προσθήκη του ελλείποντος θρεπτικού στοιχείου.

Για ένα συγκεκριμένο καλλιεργούμενο είδος κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων και άλλοι εδαφικοί και θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη καλλιεργητικοί παράγοντες.

Εκτός από τους καλλιεργητικούς παράγοντες σπουδαίο ρόλο διαδραματίζει το ύψος της αναμενόμενης απόδοσης (δυναμικό παραγωγής). Υψηλό δυναμικό παραγωγής που οφείλεται σε γενική βελτίωση των συνθηκών καλλιεργητικής διαχείρισης, βελτιωμένο γενετικό υλικό που προϋποθέτει αυξημένες θρεπτικές ανάγκες και απαιτεί προσεκτική βαθμονόμηση των μεθόδων της ανάλυσης του εδάφους (Barber, 1973).

Διακρίνονται 3-5 επίπεδα επάρκειας (sufficiency levels) δηλαδή **πολύ χαμηλό, χαμηλό, μέσο, υψηλό και πλεονασματικό**. Συνήθως μια βαθμονόμηση που βασίζεται σε μια εξίσωση συμμεταβολής δεν απαντά στο ερώτημα, πόσο λίπασμα πρέπει να προστεθεί για να ανέλθει η τιμή που προκύπτει από την εδαφική ανάλυση στην επιθυμητή στάθμη. Τέτοιες προσεγγίσεις για την επίλυση του προβλήματος λίπανσης των καλλιεργειών ισχύουν μόνο σε περιορισμένο εύρος εδαφικών και καλλιεργητικών συνθηκών και μάλιστα σε συνθήκες κάτω από τις οποίες πραγματοποιήθηκαν τα αντίστοιχα πειράματα. Η επίλυση του προβλήματος της λίπανσης απαιτεί και συμπληρωματικές πληροφορίες ήτοι:

- ο την ποσότητα του θρεπτικού στοιχείου που παραλαμβάνει η ίδια καλλιέργεια ανά μονάδα επιφανείας, η οποία εξαρτάται από το ύψος της παραγωγής και
- ο το βαθμό της αξιοποίησης του λιπάσματος που εξαρτάται κυρίως από τη φύση του θρεπτικού στοιχείου. Το άζωτο των λιπασμάτων αξιοποιείται σε ποσοστό 30-60% κατά μέσο όρο. Αντίστοιχα, ο φώσφορος κατά 10-20% και σε ένα ενδιάμεσο ποσοστό το κάλιο. Επίσης η αξιοποίηση του λιπάσματος εξαρτάται από τις χημικές και φυσικές ιδιότητες του εδάφους, καθώς και τη μέθοδο και το χρόνο εφαρμογής.

Ο καθορισμός των λιπαντικών αναγκών εξαρτάται από τους στόχους κάθε προγράμματος.

Οι στόχοι αυτοί μπορεί να είναι:

- ο Η επίτευξη μιας οριακής τιμής επάρκειας των θρεπτικών στοιχείων με απλή

αναπλήρωση των θρεπτικών απωλειών, ή

- ο Η δημιουργία μιας ικανοποιητικής στάθμης γονιμότητας του εδάφους. Στην περίπτωση αυτή η ζητούμενη τιμή της ανάλυσης του εδάφους είναι αρκετά υψηλότερη από την οριακή.

Συμπερασματικά η επιλογή του επιδιωκόμενου στόχου σε κάθε περίπτωση εξαρτάται από περισσότερους παράγοντες οπωσδήποτε δε και από οικονομικούς παράγοντες.

1.16 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.).

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας και της επιστήμης άνοιξε νέους δρόμους τόσο στην αντιγραφή όσο και στην πρόβλεψη φαινομένων, σε όλες τις φάσεις της λήψης και χρήσεως των πάσης φύσεως πληροφοριών. Τα δεδομένα παριστάνουν τον πραγματικό κόσμο, μπορούν να αποθηκευτούν και να επεξεργαστούν έτσι ώστε αργότερα να παρουσιαστούν με απλούστερες μορφές.

Από τα μέσα της δεκαετίας του 1970, έχουν αναπτυχθεί ειδικά υπολογιστικά συστήματα και λογισμικά προγράμματα για την επεξεργασία πληροφοριών που αφορούν και τα τέσσερα συστατικά του πλανήτη μας, δηλαδή στη γεώσφαιρα, την υδρόσφαιρα, την ατμόσφαιρα και τη βιόσφαιρα.

Τα συστήματα αυτά περιλαμβάνουν :

- ο Την οργάνωση βάσεων δεδομένων των διαθέσιμων πληροφοριών
- ο Τη χωροθέτηση των πληροφοριών
- ο Την εκτέλεση υπολογισμών με συσχετίσεις και αναλύσεις που παλαιότερα ήταν αδύνατες να γίνουν

Σήμερα πολλοί οργανισμοί και εταιρείες χρησιμοποιούν τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών για να προβλέψουν φαινόμενα και να αναλύσουν παράγοντες που συσχετίζονται για παράδειγμα τα επίπεδα της σεισμικότητας σε διάφορες περιοχές του κόσμου. Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών αποτελούνται από αρκετά πολύπλοκα λογισμικά προγράμματα ηλεκτρονικών υπολογισμών και αποτελούνται από τα εξής βασικά στοιχεία :

- ο Ένα σύστημα εισαγωγής πληροφοριών και χωρικών δεδομένων το οποίο εισάγει και καταχωρεί όλες τις χωρικές και μη πληροφορίες που προέρχονται από ήδη υπάρχοντες

χάρτες και άλλες πηγές αλλά και από τα διάφορα συστήματα τηλεπισκόπησης

- Ένα σύστημα αποθήκευσης και οργάνωσης βάσεως δεδομένων καθώς και ένα σύστημα επεξεργασίας, ανάλυσης και ανάκτησης των δεδομένων, τα οποία επεξεργάζονται, αναλύουν και οργανώνουν τα χωρικά και άλλα δεδομένα σε τέτοια μορφή που δίδεται η δυνατότητα για γρήγορη και λεπτομερή ανανέωση των δεδομένων και επιδιορθώσεις τυχόν λαθών που έχουν πραγματοποιηθεί κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού της βάσεως δεδομένων
- Ένα σύστημα αναφοράς και εμφάνισης των δεδομένων το οποίο είναι ικανό να δείχνει μέρος ή ολόκληρη τη βάση δεδομένων καθώς και να διαχειρίζεται τη βάση και τα εξαγόμενα αποτελέσματα από χωρικά πρότυπα και άλλα σε μορφή χάρτη και/ή πινάκων. Η δημιουργία των χαρτών αυτών καλείται «ψηφιακή χαρτογραφία».

Αυτός ο προσδιορισμός των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών δεν περιλαμβάνει τον αριθμό εκείνο των λογισμικών των ηλεκτρονικών υπολογιστών που αποτελούνται από μέρος μόνο των προαναφερθέντων χαρακτηριστικών.

Έτσι τα ψηφιακά συστήματα που επικεντρώνονται κυρίως στη συλλογή δεδομένων από χαρακτηριστικά χαρτών και έχουν μικρές δυνατότητες αποθήκευσης, επεξεργασίας, ανάλυσης (χωρικής και μη) και ανάκτησης δεδομένων δεν αποτελούν αυτό που ονομάζουμε Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών.

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographic Information Systems-G.I.S.) αποτελούν συνδυασμό της αυτοματοποιημένης σχεδίασης με ηλεκτρονικούς υπολογιστές και της τεχνολογίας που έχει αναπτυχθεί για την επεξεργασία βάσεων δεδομένων όπως αναφέρουν οι Vaiopoulos D., Vasilopoulou A., Evelpidou N. (2002)

Μέχρι πρόσφατα τα γεωγραφικά δεδομένα παρουσιάζονταν σε χάρτες που χρησιμοποιούσαν σύμβολα, γραμμές και διάφορα χρώματα. Οι περισσότεροι χάρτες έχουν ένα υπόμνημα στο οποίο απεικονίζονται και εξηγούνται γεωγραφικά και γεωμετρικά δεδομένα. Υπάρχει δυνατότητα να τοποθετηθούν, σε ένα κοινό σύστημα συντεταγμένων, ανόμοια δεδομένα.

Με τον τρόπο αυτό οι χάρτες αποτελούν ένα αποδοτικό μέσο μόνο για την παρουσίαση πληροφοριών και μια τράπεζα αποθήκευσης των γεωγραφικών δεδομένων.

Η αποθηκευμένη πληροφορία έχει επεξεργαστεί και παρουσιαστεί με ειδικό τρόπο και για συγκεκριμένο σκοπό. Αν κάποιος θελήσει να αλλάξει την παρουσίαση συναντά

σημαντικές δυσκολίες και αυτό γιατί οι χάρτες αποτελούν στατιστικές γεωγραφικές εικόνες χωρίς δυνατότητα αλλαγής. Το τελευταίο αποτελεί και ένα είδος συμβιβασμού μεταξύ χρηστών.

Ωστόσο οι χάρτες αποτελούν σημαντικό αγαθό καθώς μελέτες που έχουν γίνει έδειξαν ότι η ωφέλεια από τη χρήση των χαρτών είναι τρεις φορές μεγαλύτερη από το κόστος της χαρτογράφησης.

Αν συγκριθεί το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών με κάποιο χάρτη, θα διαπιστωθεί ότι η αποθήκευση και παρουσίαση των δεδομένων είναι τελείως διαφορετική. Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών έχουν τη δυνατότητα της δυναμικής παρουσίασης δεδομένων σε αντίθεση με τη στατική παρουσίαση, π.χ. από τους τοπογραφικούς χάρτες.

1.17 Ορισμός του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών

Είναι γεγονός ότι δεν υπάρχει συγκεκριμένος ορισμός για τα υπολογιστικά συστήματα που επεξεργάζονται γεωγραφικά δεδομένα. Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών είναι ένας γενικός ορισμός που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την καταγραφή ή εισαγωγή, αποθήκευση, επεξεργασία και ανάλυση χωρικών ή γεωγραφικά σχετιζόμενων δεδομένων. Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από υπολογιστικό σύστημα (hardware) και κατάλληλο λογισμικό (software) κυρίως για :

- Εισαγωγή και αποθήκευση πληροφορίας
- Ανάπτυξη συσχέτισης μεταξύ πληροφοριών
- Αλλαγή, διαχείριση και ανταλλαγή χωρικών δεδομένων
- Επεξεργασία, ανάκτηση και παρουσίαση βάσεως δεδομένων
- Ανάλυση, συνδυασμό και πρόβλεψη γεωγραφικών πληροφοριών

Τα δεδομένα που αποθηκεύονται σ' ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών μπορούν να παρουσιαστούν με τη μορφή πινάκων, χαρτών ή άλλων μορφών. Σημαντική δυνατότητα των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και διαφοροποίησή τους από τη συνήθη απεικόνιση των δεδομένων, είναι ο συνδυασμός μη ομοίων δεδομένων σε μια κοινή βάση δεδομένων.

Η επεξεργασία χωρικών δεδομένων και η απάντηση σε ερωτήσεις όπως για παράδειγμα τα χαρακτηριστικά ορισμένων θέσεων ή η κατανομή των γεωγραφικών

δεδομένων στις μεταβολές του χώρου και του χρόνου, η πρόβλεψη ή ακόμα και ο συνδυασμός δεδομένων είναι πλέον μια πραγματική χάρη στην ύπαρξη των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

Από τεχνικής απόψεως, το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών έχει τη δυνατότητα να οργανώσει και να επεξεργαστεί ψηφιακά χαρτογραφικά δεδομένα που είναι αποθηκευμένα σε βάσεις δεδομένων.

Το περιβάλλον απεικονίζεται με ψηφιακά δεδομένα που ορίζουν θέσεις στο χώρο και αποτελούνται από αλφαριθμητικές λίστες χαρακτηριστικών. Τα χαρακτηριστικά αυτά μπορούν να μετατραπούν σε γραφικά σύμβολα και να παρουσιαστούν σε χάρτη μαζί με άλλα δεδομένα.

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών δίδουν τη δυνατότητα ανάκτησης τέτοιων δεδομένων με μια απλή μετακίνηση του κέρσορα σε ένα σύμβολο στην οθόνη του ηλεκτρονικού υπολογιστή, ενεργοποιώντας τη συγκεκριμένη εντολή. Τα στοιχεία των δεδομένων βρίσκονται αποθηκευμένα σε τεράστιες βάσεις δεδομένων. Η σημασία των βάσεων αυτών είναι ιδιαιτέρως σημαντική.

Με τον όρο «βάση δεδομένων» γίνεται αναφορά σε μια συλλογή σχετικών δεδομένων αποθηκευμένων σε λογισμικά αρχεία και συλλογικά επεξεργαζόμενων, συνήθως με τη μορφή πινάκων. Η Γεωγραφική βάση δεδομένων περιέχει πληροφορίες σχετικές με το ανάγλυφο της επιφανείας της Γης και τα χαρακτηριστικά και αντικείμενα που την απαρτίζουν.

Η πληροφορία αυτή έχει τις εξής τρεις μορφές: 1) τη χωρική ή γεωγραφική, 2) την κωδικοποιημένη και 3) αυτή με τη μορφή εικόνας (image data). Η χωρική πληροφορία περιέχει τις περιοχές και τα σχήματα των χαρακτηριστικών των χαρτών. Η κωδικοποιημένη πληροφορία συλλέγεται και παρουσιάζεται για συγκεκριμένες περιοχές με τη βοήθεια των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών σε χάρτες. Όσον αφορά στα δεδομένα με τη μορφή εικόνων, πρόκειται για τη συλλογή πληροφοριών από αεροσκάφη και δορυφορικές πλατφόρμες και πληροφορίες που έχουν μετασχηματιστεί σε ψηφιακή μορφή.

Η γεωγραφική βάση δεδομένων μπορεί να δημιουργηθεί ή να αποκτηθεί. Έτσι για παράδειγμα ένας δέκτης G.P.S. μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσδιορίσει περιοχές σε μια έκταση ή ακόμη και σ' ένα αγροτεμάχιο που μας ενδιαφέρει. Στη συνέχεια μπορεί

να κατασκευαστεί ένας χάρτης με τη βοήθεια των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών που θα περιέχει πληροφορίες από την παρατήρηση με τα Παγκόσμια Συστήματα Εντοπισμού Θέσεως (Global Positioning Systems ή G.P.S.).

Σε πολλές περιπτώσεις εικόνες λαμβάνονται με αμοιβή από δορυφόρους και από εταιρείες αεροσκαφών αποκτούνται αεροφωτογραφίες της επιφανείας της Γης, προκειμένου να αποτελέσουν το υπόβαθρο για μελέτη και απεικόνιση των χαρακτηριστικών των περιοχών με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών.

Ένα σύστημα διαχείρισης βάσεως δεδομένων αποτελεί ένα λογισμικό που μπορεί να επεξεργαστεί (εισαγωγή, αποθήκευση, ταξινόμηση και ανάκτηση δεδομένων) δεδομένα από μια βάση δεδομένων. Μια βάση δεδομένων ή διαφορετικά μια γεωγραφική βάση δεδομένων αποθηκεύει τη γεωγραφική πληροφορία σε ένα σύστημα διαχείρισεως δεδομένων (Database management system, DBMS).

1.18 Αναφορά σε πρότυπα διαχειρίσεως βάσεων δεδομένων, ArcGIS

Τα πρότυπα διαχείρισεως βάσεων δεδομένων σχεδιάστηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι εύχρηστα σε πρακτικές εφαρμογές από μεγάλο αριθμό χρηστών. Κάθε πρότυπο μπορεί εύκολα να χρησιμοποιήσει δεδομένα από ήδη υπάρχοντα συστήματα, ανεξάρτητα αν τα αρχεία βρίσκονται αποθηκευμένα σε coverages, shape files ή αρχεία CAD κ.λ.π.

1.19 Μεθοδολογία σχεδιασμού βάσεως δεδομένων

Ο σχεδιασμός μιας βάσεως δεδομένων Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στηρίζεται στον καθορισμό θεματικών επιπέδων της πληροφορίας. Αρχικά είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί το σύνολο των θεμάτων ή επιπέδων GIS έτσι ώστε να καθοριστεί η κατάλληλη εφαρμογή και οι πληροφορίες που απαιτούνται.

Στη συνέχεια καθορίζεται κάθε επίπεδο με περισσότερες λεπτομέρειες. Ο χαρακτηρισμός κάθε θεματικού επιπέδου έχει ως αποτέλεσμα τον ορισμό των τύπων GIS όπως οι feature classes tables, relationships, raster data sets και άλλα.

Η μοντελοποίηση ή δομή της βάσεως δεδομένων ενός Γεωγραφικού Συστήματος

Πληροφοριών αποτελείται από πέντε θεματικά επίπεδα. Βήματα σχεδιασμού βάσεως δεδομένων ενός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών

Τα βήματα που ακολουθούνται στο σχεδιασμό βάσεως δεδομένων είναι τα ακόλουθα:

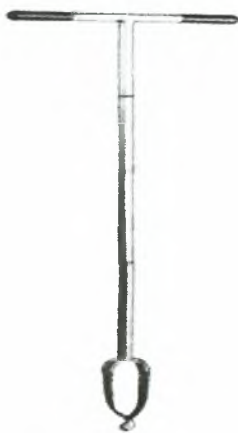
- 1) Καθορισμός των κυριότερων θεματικών επιπέδων
- 2) Επιλογή των κατάλληλων κλιμάκων για τη διαχείριση βάσεων δεδομένων
- 3) Διαχωρισμός της παρουσίασης των δεδομένων σε σύνολα: feature classes, raster data sets, tables, κ.α.
- 4) Καθορισμός των πεδίων
- 5) Προσδιορισμός συσχετίσεων
- 6) Ορισμός χωρικών επιδράσεων των δεδομένων
- 7) Πρόταση σχεδιασμού βάσεως δεδομένων
- 8) Παρουσίαση του σχεδίου με κατάλληλες μεθόδους, διαγράμματα, πίνακες, κ.α.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - Δειγματοληψία και εργαστηριακές αναλύσεις

2.1 Δειγματοληψία

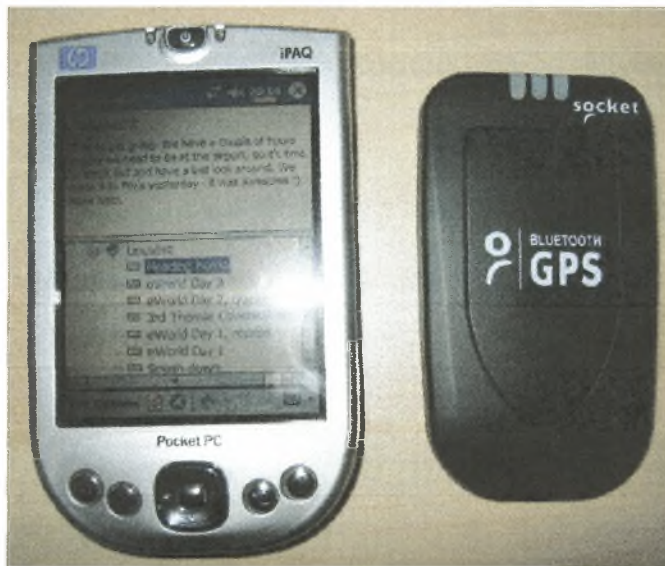
Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε σε εδάφη της ευρύτερης περιοχής του Αλμυρού Μαγνησίας από 11/5/2007 έως 31/5/2007. Η έκταση της υπό μελέτης περιοχής ήταν περίπου 150.000 στρέμματα. Για την πραγματοποίηση της χρησιμοποιήθηκε ορθοφωτοχάρτης της περιοχής (πηγή: Φλωράς Σ.) και εφαρμόστηκε η μέθοδος της Τυχαίας δειγματοληψίας (random sampling). Τυχαία δειγματοληψία λαμβάνεται όταν οι στατιστικές μονάδες επιλέγονται τυχαία από τον πληθυσμό που είναι προς μελέτη. Αυτό σημαίνει ότι δεν συντελεί στην επιλογή ή όχι μιας στατιστικής μονάδας αυτός που κάνει την δειγματοληψία (δεν υπάρχει υποκειμενικός παράγοντας) και κάθε στατιστική μονάδα έχει γνωστή πιθανότητα να επιλεγεί σαν μονάδα του δείγματος (Τζώρτζιος, 1997).

Το πλεονέκτημα της τυχαίας δειγματοληψίας είναι ότι εμφανίζονται αμερόληπτοι μέσοι όροι και παραλλακτικότητες. Τα μειονεκτήματα της είναι ότι κάθε σημείο είναι αυτοτελές και στο ότι η πλήρης τυχαιοποίηση μπορεί να οδηγήσει σε μια άνιση κατανομή των σημείων δειγματοληψίας, εκτός και αν πολλά σημεία δειγματοληψίας μπορούν να μετρηθούν, πράγμα το οποίο συνήθως εμποδίζεται από το υπερβολικό κόστος (Φλωράς Σ., 2002).



Εικόνα 2.1. Δειγματολήπτης τύπου edelman

Οι θέσεις λήψης των εδαφικών δειγμάτων ήταν τυχαίες και η θέση (συντεταγμένες χ, ψ σε μοίρες) των σημείων δειγματοληψίας καθορίστηκαν με το σύστημα D.G.P.S. (Differential Global Positioning System)



Εικόνα 2.2 Συσκευή G.P.S. (Global Positioning System).

Κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας έγινε χρήση D.G.P.S. με σκοπό τον ακριβή εντοπισμό των σημείων δειγματοληψίας και την καταγραφή των συντεταγμένων και του υψομετρικού σημείου αυτών. Ελήφθησαν 100 συνολικά εδαφικά δείγματα μάζας περίπου 1 kg, τα οποία συλλέχθηκαν από βάθος 0–30 cm και από διάφορες καλλιέργειες (πίνακας 2.4). Ο κύριος όγκος των εδαφικών δειγμάτων προέρχεται από καλλιέργειες βάμβακος, σιταριού, μηδικής και ελιάς. Η λήψη των δειγμάτων εδάφους έγινε με τη χρήση εδαφολήπτη τύπου Edelman (εικόνα 2.4) και τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε πλαστικές σακούλες, ενώ ταυτόχρονα καταγράφηκαν στοιχεία που αφορούσαν τη δειγματοληψία όπως περιοχή δειγματοληψίας, αριθμός τομής, χρήση γης, γεωμορφή, φυσιογραφία, ημερομηνία δειγματοληψίας και γενικές παρατηρήσεις για κάθε δείγμα ξεχωριστά.

Στη συνέχεια τα εδαφικά δείγματα μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο Εδαφολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βόλο όπου περίπου η μισή ποσότητα του κάθε εδαφικού δείγματος διατηρήθηκε στον καταψύκτη μέχρι να γίνει ο προσδιορισμός των νιτρικών

και νιτρωδών ιόντων, ενώ η υπόλοιπη ποσότητα αφού αεροξηράνθηκε σε θερμοκρασία δωματίου για χρονικό διάστημα 10 ημερών και αφού διήλθε από κόσκινα (2mm) διατηρήθηκε σε πλαστικές σακούλες.

2.2 Εργαστηριακές αναλύσεις των εδαφικών δειγμάτων

2.2.1 Προσδιορισμός του pH

Η τιμή του pH των εδαφικών δειγμάτων προσδιορίστηκε σε υδατικό αιώρημα εδάφους, σε αναλογία 1:1 (w/w) (McLean, 1982).

Αντιδραστήρια και όργανα.

1. Ποτήρι ζέσεως των 100 mL.
2. Ογκομετρικός κύλινδρος των 50 mL.
3. Ρυθμιστικά διαλύματα με pH=4 και pH=7.
4. Πεχάμετρο Crison.
5. Γυάλινη ράβδος.
6. Αποσταγμένο ύδωρ.
7. Ζυγός ακριβείας.

Βαθμονόμηση pH-μέτρου (Crison).

Το pH-μετρο βαθμονομείται με τη βοήθεια των ρυθμιστικών διαλυμάτων με τιμές pH=7 και pH=4 σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.

Μέθοδος.

Στο ποτήρι ζέσεως των 100 mL φέρονται 30 g αεροξηραθέντος εδάφους και με τη βοήθεια του ογκομετρικού κυλίνδρου προστίθενται 30 mL αποσταγμένου ύδατος. Με τη γυάλινη ράβδο πραγματοποιείται ανάδευση για χρονικό διάστημα 10 λεπτών. Το αιώρημα αφήνεται προς εξισορρόπηση. Στη συνέχεια εισάγεται το ηλεκτρόδιο του πεχαμέτρου στο ανώτερο τμήμα του υδατικού αιωρήματος εδάφους και λαμβάνεται η μέτρηση αφού σταθεροποιηθεί το όργανο.

2.2.2 Προσδιορισμός της οργανικής ουσίας

Χρησιμοποιήθηκε η τροποποιημένη μέθοδος των Nelson and Sommers (1982).

Όργανα - σκεύη

- Κωνικές ευρύλαιμες φιάλες των 500mL
- Ζυγός ακριβείας δύο δεκαδικών ψηφίων
- Σιφώνια 20mL, 10mL, 1mL
- Προχοίδα

Αντιδραστήρια

-Πρότυπο διάλυμα $K_2Cr_2O_7$, 1N. Ζυγίστηκαν 49,04g $K_2Cr_2O_7$, το οποίο είχαν προηγουμένως ξηραθεί στους $105^{\circ}C$ για 1 ώρα και διαλύθηκαν σε αποσταγμένο νερό. Μεταφέρθηκαν στη συνέχεια σε ογκομετρική φιάλη των 1000mL η οποία συμπληρώθηκε μέχρι τη χαραγή με αποσταγμένο νερό.

-Πυκνό H_2SO_4 (96% και άνω w/w), του εμπορίου.[Όταν στο έδαφος υπήρχαν Cl^- γίνονταν προσθήκη 15 gr L^{-1} Ag_2SO_4 στο οξύ].

-Πυκνό H_3PO_4 (96% και άνω w/w), του εμπορίου.

-Πρότυπος τιτλοδότης, διάλυμα $FeSO_4$ 0,5N. Διαλύθηκαν 139g $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ σε αποσταγμένο νερό και προστέθηκαν 15mL πυκνού H_2SO_4 . Ακολούθησε ψύξη και αραίωση μέχρι όγκου 1000 mL.

Για την συγκέντρωση του αντιδραστηρίου γίνονταν έλεγχος πριν τη χρήση, με τιτλοδότηση με 10mL διαλύματος $K_2Cr_2O_7$ 1N.

-Δείκτης ο-φαινανθρολίνης, η οποία είχε συμποκοποιηθεί με διάλυμα $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 0,025M: 14,85 g από το αντιδραστήριο της ο-φαινανθρολίνης και 6,95 gr από το αντιδραστήριο $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, ζυγίστηκαν και διαλύθηκαν σε μικρή ποσότητα αποσταγμένου νερού. Ακολούθησε αραίωση σε ογκομετρική φιάλη των 1000mL με αποσταγμένο νερό.

Μέθοδος

Ζυγίστηκαν 0,2-1,0g αεροξηραθέντος εδάφους, που είχε λειοτριβηθεί και κοσκινιστεί με κόσκινο (όχι μεταλλικό), διαμέτρου 0,5mm. Το δείγμα μεταφέρθηκε σε κωνική φιάλη των 500mL. Κατόπιν, προστέθηκαν 10mL διαλύματος $K_2Cr_2O_7$ 1N και ανακινήθηκε ελαφρά η φιάλη, έτσι ώστε να διασπαρθεί το δείγμα πλήρως στο διάλυμα. Στη συνέχεια, προστέθηκαν 20mL πυκνού H_2SO_4 . Η φιάλη ανακινήθηκε για ένα λεπτό και αφέθηκε σε ηρεμία για 30 λεπτά της ώρας. Κατόπιν, προστέθηκαν 200mL αποσταγμένου νερού, 10mL H_3PO_4 και 1mL δείκτη ο-φαινανθρολίνης. Τελικά, ογκομετρήθηκε η περίσσεια του $K_2Cr_2O_7$ με το διάλυμα $FeSO_4$ μέχρις αλλαγής του χρώματος του δείκτη από μπλε σε κόκκινο. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε και ο τυφλός προσδιορισμός της κανονικότητας του πρότυπου τιτλοδότη, $FeSO_4$ 0,5N. Όταν γίνονταν αναγωγή από τον οργανικό άνθρακα περισσότερο από 75% των ιόντων $Cr_2O_7^{-2}$, τότε ο προσδιορισμός επαναλαμβάνονταν χρησιμοποιώντας μικρότερη ποσότητα εδαφικού δείγματος.

Υπολογισμοί

Ο οργανικός άνθρακας υπολογίστηκε από τον τύπο :

$$\text{Οργανικός C, \%} = \frac{(\text{meqK}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{meqFeSO}_4)(0.003)(100)}{\text{gξηρού εδάφους}} \times f$$

όπου : meq $K_2Cr_2O_7$ είναι ίσα με τα meq $FeSO_4$ που καταναλώνονται για τον τυφλό προσδιορισμό, meq $FeSO_4$ είναι τα mL του τιτλοδότη που καταναλώθηκαν για το δείγμα επί την κανονικότητα του διαλύματος και f είναι συντελεστής διόρθωσης που έχει τιμή 1,3.

Συμπληρωματικά, αναφέρεται ότι οι τιμές του ολικού άνθρακα % καθώς και της ολικής οργανικής ουσίας %, υπολογίστηκαν ως εξής :

$$\text{Ολικός Οργανικός C, \%} = \frac{(\text{meqK}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{meqFeSO}_4)(0.0039)(100)}{\text{gξηρού εδάφους}} \times f$$

$$\text{Οργανική Ουσία, \%} = \frac{(\text{meqK}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{meqFeSO}_4)(0.0067)(100)}{\text{gξηρού εδάφους}} \times f$$

2.2.3 Προσδιορισμός της μηχανικής σύστασης του εδάφους.

Χρησιμοποιείται η μέθοδος κοκκομετρικής ανάλυσης με το υδρόμετρο του Βουγιούκου. Τα εδαφικά δείγματα διέρχονται αρχικά από κόσκινο διαμέτρου 2mm.

Μέθοδος

Ζυγίζονται 50g ξηρού εδάφους σε ποτήρι βρασμού των 600mL και προτίθενται 50mL διασπορικού διαλύματος του 6-μεταφοσφορικού νατρίου. Μετά από 2 ώρες προστίθεται απιονισμένο ύδωρ μέχρι τα 500mL. Ακολουθεί ανάδευση με μια ράβδο και το δείγμα παραμένει για 24 ώρες, σε σταθερές συνθήκες, για να ολοκληρωθεί η διασπορά. Στη συνέχεια, το δείγμα μεταφέρεται στο μηχανικό αναδευτήρα για καλύτερη διασπορά. Η διάρκεια της ανάδευσης είναι 15 λεπτά της ώρας για τα ελαφριά έως μέτριας σύστασης εδάφη ή 30 λεπτά της ώρας για τα βαριά αργιλώδη εδάφη.

Το δείγμα μεταφέρεται από τον μηχανικό αναδευτήρα στο γυάλινο κύλινδρο Βουγιούκου ύψους 47cm, στον οποίο έχουν ειδή προστεθεί μικρή ποσότητα ύδατος. Τοποθετείται κατόπιν το πυκνόμετρο και ο κύλινδρος συμπληρώνεται με απιονισμένο ύδωρ μέχρι την χαραγή των 1130 mL.

Τα αιώρημα αναδεύεται με χειροκίνητο αναδευτήρα 20 φορές με δυνατές, παλινδρομικές κατά τον άξονα του κυλίνδρου κινήσεις, μέχρι να ομογενοποιηθεί το αιώρημα.

Αμέσως, μετά σημειώνεται η πρώτη μέτρηση του πυκνομέτρου και του θερμομέτρου. Το αιώρημα παραμένει σε ηρεμία και η δεύτερη μέτρηση σημειώνεται μετά από δύο ώρες.

Αν η Α είναι η πρώτη ένδειξη μετά από 40 δευτερόλεπτα και Β η δεύτερη ένδειξη μετά από δύο ώρες τότε:

$$A = (\text{Πλύς} + \text{Άργιλος}) \%$$

$$B = \text{Άργιλος} \%$$

$$\text{Άρα } A - B = \text{Πλύς} \% \text{ και } 100 - A = \text{Άμμος} \%$$

Υπολογισμοί

Α) Προσδιορισμός του ποσοστού % της άμμου

$$\% \text{άμμου} = 100 - 2 (A \pm \Delta_1)$$

όπου Α = πρώτη ανάγνωση πυκνομέτρου

Δ_1 = συντελεστής διόρθωσης της πρώτης ανάγνωσης του πυκνομέτρου που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία της πρώτης θερμομέτρησης και λαμβάνεται από ειδικό πίνακα.

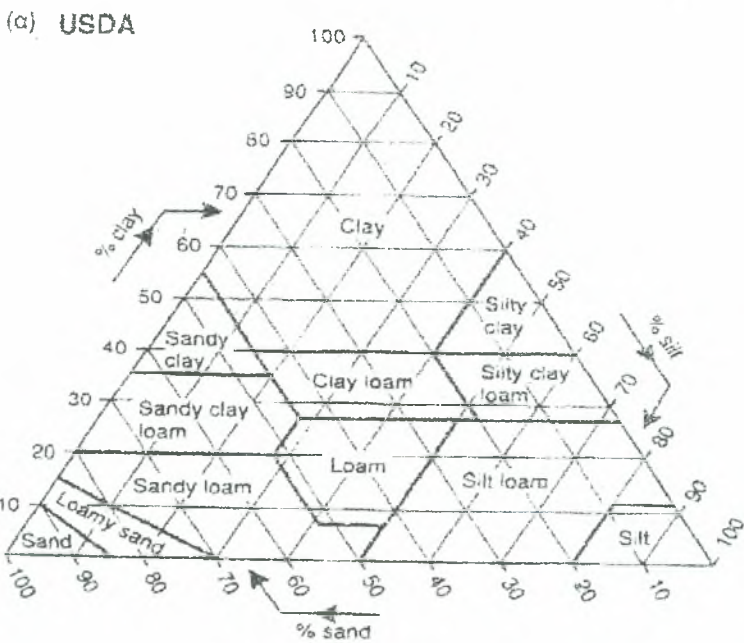
Β) Προσδιορισμός του ποσοστού % της αργίλου

$\%αργίλου = 100 - 2 (B \pm \Delta_2)$

όπου B = δεύτερη ανάγνωση πυκνομέτρου

Δ_2 = συντελεστής διόρθωσης της δεύτερης ανάγνωσης του πυκνομέτρου που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία της πρώτης θερμομέτρησης και λαμβάνεται από ειδικό πίνακα.

Γ) Η Πύς υπολογίζεται, αν αφαιρεθεί το άθροισμα των ποσοστών άμμου και αργίλου από το 100. Ο τύπος του εδάφους προσδιορίζεται από το τριγωνικό διάγραμμα μηχανικής σύστασης των εδαφών κατά USDA.



2.2.4 Προσδιορισμός του φωσφόρου σε διάλυμα – μέθοδος Olsen (1954)

Οι περισσότεροι προσδιορισμοί εδαφικού φωσφόρου έχουν δύο χωριστές φάσεις. Πρώτον, τη προετοιμασία ενός δείγματος που να περιέχει τον εδαφικό φώσφορο ή το κλάσμα αυτού και δεύτερον τον ποσοτικό προσδιορισμό του εδαφικού φωσφόρου στο διάλυμα, τη συγκέντρωση άλλων στοιχείων και το συγκεκριμένο σύστημα οξέων που χρησιμοποιείται στην αναλυτική διαδικασία.

Οι «μπλε» μέθοδοι του μολυβδαινίου είναι αυτές με τη μεγαλύτερη ευαισθησία και έτσι χρησιμοποιούνται ευρέως τόσο στα εδαφικά αποστάγματα, που περιέχουν μικρές ποσότητες P, όσο και για τον προσδιορισμό του ολικού P. Αυτές οι μέθοδοι βασίζονται στην αρχή ότι σε ένα όξινο μολυβδαινικό διάλυμα που περιέχει ορθοφωσφορικά ιόντα, ένα φωσφορομολυβδαινικό σύμπλοκο που μπορεί να αναχθεί από ασκορβικό οξύ, από SnCl_2 , και από άλλα αναγωγικά αντιδραστήρια σε ένα «μπλε του μολυβδαινίου» χρώμα. Η ένταση του μπλε χρώματος ποικίλει ανάλογα με τη συγκέντρωση του P αλλά επηρεάζεται επίσης και από άλλους παράγοντες όπως η οξύτητα, τα αρσενικούχα και τα πυριτικά άλατα, και άλλα στοιχεία που επηρεάζουν το οξειδο-αναγωγικό περιβάλλον του συστήματος.

Η μέθοδος του Olsen χρησιμοποιείται κυρίως για εδάφη ασβεστούχα και για εδάφη που λιπάνθηκαν με φωσφορικό απατίτη αλλά δίνει αρκετά αξιόπιστα αποτελέσματα και σε όξινα εδάφη.

Ο προσδιορισμός του P κατά Olsen ακολουθεί δύο φάσεις, πρώτον την εκχύλιση με διάλυμα 0,5N NaHCO_3 και μετά τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης του P στο εκχύλισμα.

Μέθοδος – Αντιδραστήρια

- Διάλυμα NaOH 5N: 40gr NaOH διαλύονται σε 800ml απεσταγμένου νερού και συμπληρώνεται μέχρι 1000ml.
- Διάλυμα NaHCO_3 0,5N: 42gr NaHCO_3 διαλύονται σε 800ml απεσταγμένου νερού και συμπληρώνουμε μέχρις όγκου 1000ml. Ρυθμίζουμε το pH στο 8,5 με το διάλυμα NaOH 0,5N.

- Διάλυμα H_2SO_4 5N: Διαλύουμε 141ml π. H_2SO_4 96% σε 800ml απεσταγμένου νερού και μετά από τη ψύξη του διαλύματος συμπληρώνουμε μέχρις όγκου 1000ml.
- Μολυβδαινικό αμμώνιο $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.
- Τρυγικό καλιοαντιμονίω KSbO \cdot C $_4$ H $_4$ O $_6$.
- Διάλυμα A: Διαλύουμε 6g $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ σε 125ml απεσταγμένο νερό σε ποτήρι ζέσεως 500ml, καθώς και 0,145gr KSbO \cdot C $_4$ H $_4$ O $_6$ με 50ml απεσταγμένο νερό σε ποτήρι ζέσεως 200ml. Μεταφέρουμε τα παραπάνω διαλύματα σε ογκομετρική φιάλη των 1000ml, προσθέτουμε 500ml διαλύματος H_2SO_4 5N και συμπληρώνουμε με νερό μέχρις όγκου 1000ml.
- Ασκορβικό οξύ (L(+)-Ascorbic acid).
- Διάλυμα B: Διαλύουμε 0,528gr ασκορβικό οξύ σε 100ml διαλύματος A (διατηρείται μόνο για 24 h).
- Δείκτης p-νιτροφαινόλη: Διαλύουμε 0,25gr p-νιτροφαινόλη σε 100ml απεσταγμένο νερό.
- α) Stock I (1mgP/ml): Ζυγίζουμε 1,099gr KH_2PO_4 (105oC για 1 ώρα) και τα διαλύουμε σε 250ml απεσταγμένο νερό. Προσθέτουμε 4ml πυκνό H_2SO_4 και διατηρώ στο ψυγείο σε σκούρα φιάλη.
β) Stock II (100μgP/ml): Παίρνω 10ml από το Stock I σε ογκομετρική φιάλη των 100ml και συμπληρώνω με νερό μέχρι τη χαραγή.
γ) Πρότυπο διάλυμα P (1μgP/ml): Παίρνω 5ml από το Stock II σε ογκομετρική φιάλη των 500ml και συμπληρώνω με νερό μέχρι τη χαραγή.

Βαθμονόμηση Φασματοφωτόμετρου - Κατασκευή της καμπύλης

Κατ'αρχήν λαμβάνονται 10ml από το εκχυλιστικό διάλυμα NaHCO_3 0,5N (pH=8,5) σε ποτήρι ζέσεως των 50ml. Προσθέτουμε μια σταγόνα δείκτη p-νιτροφαινόλη και το διάλυμα αποκτά κίτρινο χρώμα. Στη συνέχεια προσθέτουμε με προχοΐδα διάλυμα H_2SO_4 5N και ταυτόχρονα μετράμε το pH του διαλύματος. Συνεχίζουμε τη προσθήκη του οξέος μέχρι το pH να πάρει την τιμή 5 οπότε και παρατηρείται αποχρωματισμός του διαλύματος. Σημειώνουμε πόσα ml οξέος απαιτήθηκαν για την οξίνιση του διαλύματος.

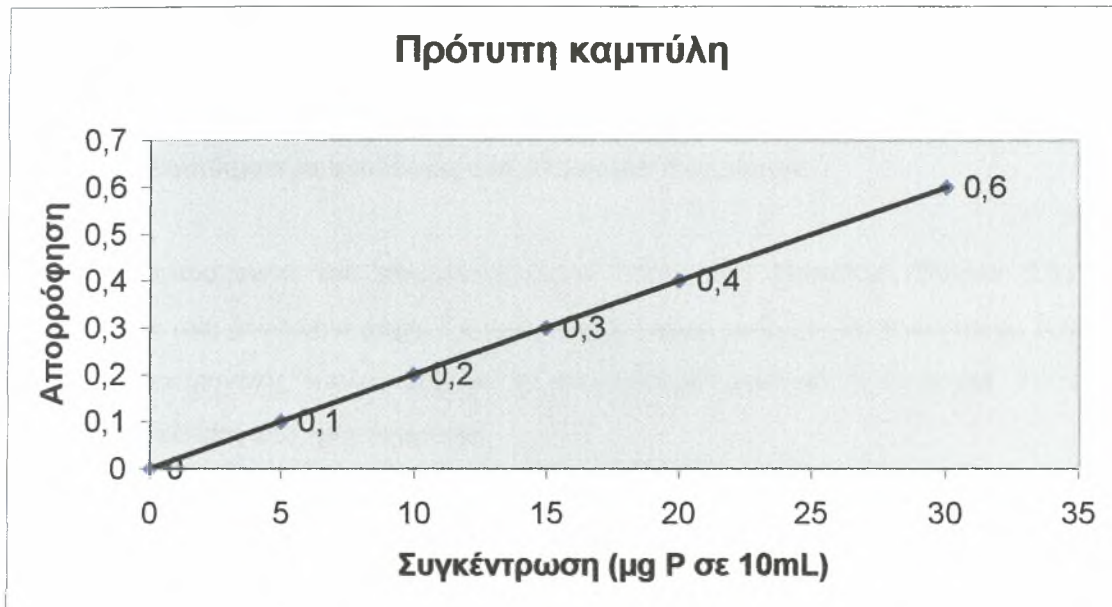
Σε 6 ογκομετρικές φιάλες των 50ml μεταφέρουμε με σιφόνιο 10ml από το εκχυλιστικό διάλυμα και αντίστοιχα 0, 5, 10, 15, 20 και 30ml διαλύματος standard και

κατόπιν προσθέτουμε την ίδια ποσότητα διαλύματος H_2SO_4 5N που σημειώσαμε, οπότε το pH του κάθε διαλύματος θα ισούται με 5. Προσθέτουμε απεσταγμένο νερό και το διάλυμα αφήνεται για 30 λεπτά. Στη συνέχεια προσθέτουμε σε κάθε φιάλη 8ml αντιδραστήριο B, συμπληρώνω μέχρι τη χαραγή με νερό, πωματίζω και ανακινώ. Μετά από παραμονή 45min μετράμε την απορρόφηση στο φασματοφωτόμετρο στα 720nm ή 880nm με κυψελίδα 1cm και συμπληρώνω τη τελευταία στήλη του πίνακα που ακολουθεί.

| Standard | μgr P ανά 50ml | ppm P (μgr/ml) | ABS |
|----------|----------------|-------------------|-----|
| 0 | 0 | 0 | |
| 1 | 5 | 0,1 | |
| 2 | 10 | 0,2 | |
| 3 | 15 | 0,3 | |
| 4 | 20 | 0,4 | |
| 5 | 30 | 0,6 | |

Το φασματοφωτόμετρο μηδενίζεται με το Standard 0 δηλαδή με το ‘τυφλό’, ενώ τα υπόλοιπα πρότυπα μετριοούνται με τη αύξουσα σειρά τους. Μετά από κάθε μέτρηση απορρόφησης προτύπου το όργανο μηδενίζεται εκ νέου με το ‘τυφλό’. Τέλος, με τις δύο τελευταίες στήλες του πίνακα κατασκευάζω καμπύλη συγκέντρωσης-απορρόφησης βάση της οποίας θα υπολογίσω τη συγκέντρωση του P στα υπό μελέτη εδαφικά δείγματα

Εικόνα 2.5. Ενδεικτική καμπύλη βαθμονόμησης του φασματοφωτομέτρου για το φώσφορο.



Εκχύλιση

Παράλληλα με τη κατασκευή της καμπύλης πραγματοποιείται και η διαδικασία της εκχύλισης. Ζυγίζουμε 5,0gr αεροξηραθέντος εδαφικού δείγματος και μαζί με 100ml διαλύματος NaHCO_3 0,5N ($\text{pH}=8,5$) τοποθετούνται σε φιάλη ανακίνησης, οπότε και ανακινούμε για 30min. Διηθούμε το εκχύλισμα με ηθμό Whatman nr40. Εάν δεν έχουμε διαυγές διήθημα προσθέτουμε 1gr ενεργού άνθρακα, ανακινούμε αμέσως και επαναδιηθούμε (κυρίως σε οργανικά εδάφη).

Από το διήθημα λαμβάνουμε 10ml σε ογκομετρική φιάλη των 50ml. Προσθέτω λίγο απιονισμένο νερό. Μετά στη φιάλη προστίθεται διάλυμα H_2SO_4 5N σε ποσότητα ίση με αυτή που υπολογίσαμε παραπάνω και το διάλυμα αφήνεται 30 λεπτά. Στη συνέχεια προσθέτω 8ml αντιδραστήριο B, συμπληρώνω μέχρι τη χαραγή με νερό, πωματίζω και ανακινώ. Μετά από παραμονή 45min μετράμε την απορρόφηση στο φασματοφωτόμετρο στα 720nm ή 880nm με κυψελίδα 1cm. Οι μετρήσεις της απορρόφησης μέσω της καμπύλης που κατασκευάσαμε μας δίνουν μια τιμή συγκέντρωσης P. Αυτή η τιμή πολλαπλασιασμένη επί 100 (συντελεστής αραίωσης) μας δίνει την τελική τιμή του P κατά Olsen σε µg/gr εδάφους.

2.2.5 Προσδιορισμός της συγκέντρωσης των φωσφορικών ιόντων.

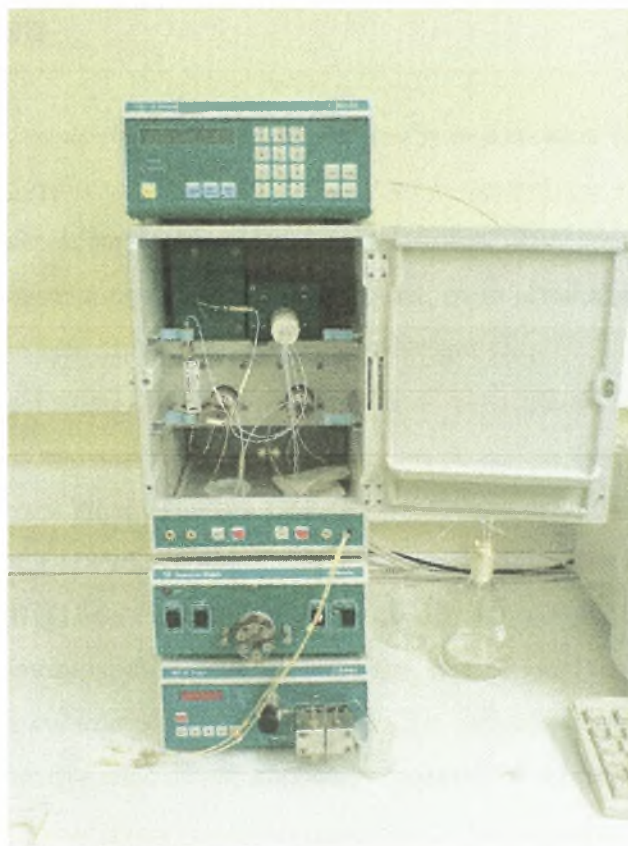
Περιγραφή του οργάνου της ιοντικής χρωματογραφίας με το οποίο πραγματοποιήθηκαν οι αναλύσεις των εδαφικών δειγμάτων

Το όργανο είναι του κατασκευαστικού οίκου της Metrohm (Εικόνα 2.3) και αποτελείται από δύο κύρια μέρη. Το πρώτο μέρος είναι το κύριο όργανο ενώ το δεύτερο είναι ο ηλεκτρονικός υπολογιστής με το απαραίτητο λογισμικό πρόγραμμα. Το κύριο μέρος αποτελείται από τρία κομμάτια

- Το βασικό θάλαμο, που περιέχει τις στήλες ιοντοανταλλαγής των ανιόντων, των κατιόντων και του σεληνίου.
- Τις αντλίες του ύδατος (753 Suppressor Module) και της κινητής φάσης (709 IC Pump)
- Τον ανιχνευτή αγωγιμόμετρο (732 IC Detector) .

Ο συγκεκριμένος ιοντικός χρωματογράφος ()μπορεί να προσδιορίσει συγκεντρώσεις με ακρίβεια της τάξης των ppb (αναλογία στο δισεκατομμύριο) τα εξής ιόντα: λίθιο, νάτριο, αμμώνιο, κάλιο, ασβέστιο, μαγνήσιο, φθόριο, βρώμιο, χλώριο, νιτρικά, νιτρώδη, φωσφορικά, θειικά καθώς επίσης και διάφορες μορφές του σεληνίου. Τα όρια ανίχνευσης για τα ανωτέρω στοιχεία είναι μεταξύ 10 και 30 $\mu\text{g L}^{-1}$. Τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιούνται είναι υψηλής καθαρότητας χωρίς άλλες προσμίξεις. Το ύδωρ είναι κι αυτό υψηλής καθαρότητας και παράγεται από την ειδική συσκευή του εργαστηρίου (Εικόνα 2.4).

Σύμφωνα με τη διεθνή και την ελληνική βιβλιογραφία ο συνδυασμός της στήλης εναλλαγής ιόντων και της ανίχνευσης της αγωγιμότητας παρουσιάζει τον πιο αξιόπιστο τύπο της ιοντικής χρωματογραφίας.



Εικόνα 2.3. Το όργανο της ιοντικής χρωματογραφίας του Εργαστηρίου Εδαφολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.



Εικόνα 2.4. Συσκευή παραγωγής ύδατος υψηλής καθαρότητας

Χημικά αντιδραστήρια

Η κρίσιμότερη ίσως προϋπόθεση για την επίτευξη σημαντικών αποτελεσμάτων είναι μια άριστη δειγματοληψία κατά την οποία πρέπει να αποφεύγονται πιθανές επιμολύνσεις του δείγματος. Οι πιθανές πηγές ρύπανσης βρίσκονται στα υλικά των δοχείων μεταφοράς ή αποθήκευσης, στην ατμόσφαιρα του εργαστηρίου, στον εξοπλισμό του εργαστηρίου, στα χημικά αντιδραστήρια και στους διαλύτες (Robertson DE., 1972).

Τα χημικά αντιδραστήρια που χρησιμοποιήθηκαν είναι υψηλής καθαρότητας χωρίς άλλες προσμίξεις. Τα πρότυπα πυκνά διαλύματα είναι και αυτά υψηλής καθαρότητας τα οποία κατασκευάζονται ειδικά για την ιοντική χρωματογραφία. Το ύδωρ είναι κι αυτό υψηλής καθαρότητας ($>18\text{M}\Omega\text{cm}$ στους $25\text{ }^{\circ}\text{C}$) και παράγεται από την ειδική συσκευή του εργαστηρίου, UHQ Ultra Pure Water.

Τα σκεύη που χρησιμοποιούνται στις αναλύσεις των εδαφών είναι κατασκευασμένα από γυαλί, πολυπροπυλένιο και πολυαιθυλένιο. Τα υάλινα σκεύη, ειδικά αυτά που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή πρότυπων διαλυμάτων είναι ανώτερης ποιότητας, τύπου A.

Τα σκεύη που χρησιμοποιούνται για τις αναλύσεις με τη μέθοδο της ιοντικής χρωματογραφίας καθαρίζονται και απολυμαίνονται μόνο με απορρυπαντικό και ξεπλένονται πολλές φορές με υπερκάθαρο νερό (Neal et. al., 2003).

2.3 Στατιστική Επεξεργασία Αποτελεσμάτων

Για τη στατιστική ανάλυση και τη τελική παρουσίαση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν τα προγράμματα Microsoft Excel και το πρόγραμμα E.S.R.I ArcGIS v.9.1.

Σε κάθε περίπτωση υπολογίστηκε η μέγιστη, η ελάχιστη και η μέση τιμή κάθε παραμέτρου καθώς και η τυπική απόκλιση (Standard deviation) και ο συντελεστής παραλλακτικότητας (Coefficient of Variance).

Για την εύρεση της σχέσης μεταξύ των τιμών δύο παραμέτρων χρησιμοποιήθηκε η ευθεία συμμεταβολή (Linear Regression).

2.4 Εφαρμογή της τηλεπισκόπησης

Για τη διενέργεια της Τυχαίας δειγματοληψίας (random sampling) στην ευρύτερη περιοχή του Αλμυρού χρησιμοποιήθηκε ορθοφωτοχάρτης της περιοχής. (πηγή: Φλωράς Σ.)

Οι αρχικοί ορθοφωτοχάρτες της Τοπογραφικής Υπηρεσίας του Υπουργείου Γεωργίας ήταν σε ψηφιακή μορφή και ήταν γεωγραφικά διορθωμένοι και προβεβλημένοι στο γεωγραφικό προβολικό σύστημα (σε μοίρες).

Οι ψηφιακοί ορθοφωτοχάρτες συνενώθηκαν με το κατάλληλο λογισμικό πρόγραμμα και αποτέλεσαν τον βασικό ορθοφωτοχάρτη της περιοχής μελέτης.

2.5 Ψηφιακοί θεματικοί χάρτες

Για τη κατασκευή των ψηφιακών θεματικών χαρτών, που αφορούν τη περιοχή της μελέτης, αρχικά έγινε η ψηφιοποίηση με τη βοήθεια τοπογραφικών χαρτών της περιοχής του Αλμυρού. Η διαδικασία έχει ως εξής: Τοποθετείται ο χάρτης με προσοχή στο ψηφιοποιητή και ξεκινάει η διαδικασία της ψηφιοποίησης. Ορίζονται τα αρχικά όρια των χαρτών και προσδιορίζονται οι μονάδες του ψηφιοποιητή σε ίντσες. Στη συνέχεια πραγματοποιείται η δόμηση της Γεωγραφικής Βάσεως Δεδομένων με τα επίπεδα που είναι απαραίτητο να ψηφιοποιηθούν. (Φλωράς Σ., 2004). Τα επίπεδα που τελικά ψηφιοποιήθηκαν είναι τα εξής:

- Σημεία δειγματοληψίας (σημεία)
- Οδικό δίκτυο (γραμμές)
- Ισοϋψείς (γραμμές)
- Υδρογραφικό δίκτυο (γραμμές)
- Υψομετρικά σημεία (σημεία)
- Επίπεδο των tics (σημεία αναφοράς)

Τυπικά τα επίπεδα οργανώνονται έτσι ώστε τα σημεία, οι γραμμές και τα πολύγωνα να αποθηκεύονται σε ξεχωριστά επίπεδα και shapefiles. Για παράδειγμα οι δρόμοι

παριστάνονται με γραμμές και αποθηκεύονται ως ένα επίπεδο, ενώ τα σημεία δειγματοληψίας παριστάνονται ως σημεία και αποθηκεύονται σε άλλο επίπεδο.

Τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά μπορούν επίσης να οργανωθούν θεματικά σύμφωνα με αυτό που αντιπροσωπεύουν.

Σε κάθε χάρτη ψηφιοποιείται αρχικά ένα κενό επίπεδο με τα tics. Στη συνέχεια ψηφιοποιούνται ως ανεξάρτητα επίπεδα τα υψομετρικά σημεία, οι ισοϋψείς, οι δρόμοι και τέλος τα σημεία δειγματοληψίας.

Από τη στιγμή που κάθε θεματικός χάρτης ψηφιοποιείται, αυτομάτως τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά βρίσκονται αποθηκευμένα με τη μορφή χ και ψ συντεταγμένων στη ψηφιακή βάση δεδομένων μαζί με τις περιγραφικές πληροφορίες τους σε ένα πίνακα γνωστό ως πίνακα πληροφοριών των γεωγραφικών χαρακτηριστικών ή AAT (Arc Attribute Table) και PAT (Polygon ή Point Attribute table) για τα σημεία, τις γραμμές και τα πολύγωνα.

Τέλος δημιουργούνται μητρικά tic αρχεία και γίνεται αρίθμηση κάθε tic με ένα μοναδικό αριθμό ID και ορισμός των συντεταγμένων για κάθε tic με βάση τις συντεταγμένες του χάρτη. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένας πίνακας με τα ID των tics και τις συντεταγμένες. Ακολουθεί προσδιορισμός και διόρθωση τυχόν λαθών της ψηφιοποίησης. (Φλωράς Σ., 2004)

2.6 Προσδιορισμός λαθών από την ψηφιοποίηση

Μετά τη διαδικασία της ψηφιοποίησης εφαρμόστηκε το **ARC/INFO v.9** προκειμένου να γίνει επισημάνση και μετέπειτα διόρθωση λαθών. Το **ARC/INFO v.9**, δίδει τη δυνατότητα να εντοπιστούν τυχόν ατέλειες στην απόδοση της πραγματικότητας καθώς προσδιορίζει με ειδικά σύμβολα τα λάθη στην ψηφιοποίηση.

Μερικά από τα συνήθη λάθη τα οποία η τοπολογία μπορεί να προσδιορίσει είναι :

- Τόξα που δεν συνδέονται μεταξύ τους,
- Πολύγωνα ανοιχτά,
- Πολύγωνα που δεν έχουν label point ή που έχουν περισσότερα από ένα και
- Ταυτότητες σημείων που δεν είναι μοναδικές

Το **ARC/INFO v.9** παρέχει για δημιουργία τοπολογίας αυτόματα δύο εντολές : **build** και **clean**. Η εντολή **build** χρησιμοποιείται για τα σημεία, τις γραμμές και τα πολύγωνα ενώ η **clean** μόνο για τις γραμμές και τα πολύγωνα. Τα παραπάνω λάθη αντιμετωπίστηκαν με την εντολή **build** για δημιουργία τοπολογίας.

Είναι απαραίτητο και πρέπει να δίδεται ιδιαίτερη προσοχή στην αποφυγή ή στη διόρθωση μικρών λαθών κατά την ψηφιοποίηση και τούτο διότι υπάρχει η δυνατότητα να δημιουργηθούν στρεβλώσεις, μεταξύ των διαφόρων επιπέδων. Έτσι, αν οι συντεταγμένες δε συμπίπτουν ακριβώς, θα υπάρξουν προβλήματα ταύτισης : π.χ. δημιουργία ανεπιθύμητων στενόμακρων πολυγώνων, ανώμαλες άκρες στους χάρτες και ανακριβείς μετρήσεις στην επεξεργασία δεδομένων.

Για να μετατραπούν οι μονάδες των TICS σε δεκαδικές μοίρες, οι μοίρες αφήνονται ως έχουν και ως δεκαδικό μέρος αθροίζονται τα αποτελέσματα της διαίρεσης των μεν λεπτών της μοίρας με το 60, των δε δευτερολέπτων με το 3600.

Οι ψηφιοποιημένοι χάρτες, με τη χρήση των εντολών **mapjoin**, **append** και **edgematch** του **ARC/INFO v. 9**, ενώθηκαν σε ένα ενιαίο χάρτη.

2.7 Σύστημα προβολής χαρτών

Οι περισσότεροι χάρτες παρουσιάζουν τα δεδομένα σύμφωνα με ένα αναγνωρισμένο σφαιρικό σύστημα συντεταγμένων όπως είναι για παράδειγμα το Universal Transverse Mercator (UTM), το Albers Conical Equal (ACE) και το Area Polar Stereographic System (APSS). Πρόκειται για παραδείγματα προβολών χαρτών που χρησιμοποιούνται για να παραστήσουν ελλειπτικά χαρακτηριστικά σε μια επίπεδη επιφάνεια. Βέβαια τα προβολικά συστήματα που υπάρχουν σήμερα είναι πάνω από 300.

Λαμβανομένου υπόψη ότι η Γη είναι ένα σφαιροειδές, πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια μαθηματική μετατροπή για να δημιουργηθεί ένας επίπεδος χάρτης από την σφαιροειδή επιφάνεια. Η μαθηματική αυτή μετατροπή αναφέρεται συχνά ως χαρτογραφική προβολή (map projection). (Φλωράς Σ., 2004)

Οι τιμές του γεωγραφικού πλάτους και μήκους δεν είναι στο Καρτεσιανό Σύστημα Συντεταγμένων αλλά σε ένα γεωγραφικό σύστημα αναφοράς. Οι τιμές όμως αυτές είναι οι πλέον διαθέσιμες ακριβείς μετρήσεις σε πολλούς χάρτες. Με τη βοήθεια του **ARC/INFO v.9**, οι τιμές αυτές μετατράπηκαν σε ένα Καρτεσιανό Σύστημα Προβολής το

οποίο ονομάζεται “ *ΕΓΣΑ 87* ” . Το σύστημα αυτό επιλέχθηκε μεταξύ των άλλων ως το καλύτερο διότι έχει τη μικρότερη παραμόρφωση ως προς την επιφάνεια και ως προς τη διεύθυνση, διατηρεί δηλαδή το σχήμα του χάρτη σχεδόν αναλλοίωτο.

2.8 Εφαρμογή του ArcGIS 9.1 Desktop

Το ArcGIS 9.1 Desktop αποτελείται από επιμέρους προγράμματα όπως είναι τα ArcView, ArcMap, ArcEditor και ArcInfo. Το ArcGIS 9.1 Desktop περιλαμβάνει μια ακολουθία ολοκληρωμένων εφαρμογών όπως τα ArcMap, ArcCatalog και ArcToolbox. Με τη χρησιμοποίηση των 3 αυτών εφαρμογών μπορεί να πραγματοποιηθεί οποιαδήποτε εργασία σχετική με GIS, από τις πιο απλές μέχρι τις πιο εξεζητημένες, συμπεριλαμβανομένων της δημιουργίας χαρτών, της διαχείρισης δεδομένων, της γεωγραφικής ανάλυσης και της γεωστατιστικής επεξεργασίας.

Το ArcMap είναι η κεντρική εφαρμογή του ArcGIS 9.1 Desktop. Είναι η εφαρμογή GIS η οποία χρησιμοποιείται για όλες τις εργασίες που έχουν να κάνουν με χάρτες, όπως η χαρτογραφία, η ανάλυση χαρτών και η παρουσίαση αυτών.

Η εφαρμογή του ArcCatalog βοηθά στην οργάνωση και διαχείριση των γεωγραφικών δεδομένων. Περιλαμβάνει εργαλεία για την ανεύρεση γεωγραφικών πληροφοριών, τη ταχεία προβολή δεδομένων και το καθορισμό της σχηματικής δομής των στρώσεων (layers) των γεωγραφικών δεδομένων.

Το ArcToolbox είναι μια απλή εφαρμογή που περιλαμβάνει διάφορα εργαλεία GIS κατάλληλα για γεωεπεξεργασία. Για παράδειγμα χρησιμεύει στη μετατροπή των δεδομένων και στη προβολή τους στα διάφορα προβολικά συστήματα.

Τέλος, πραγματοποιείται η δόμηση της βάσης δεδομένων με την εισαγωγή των αποτελεσμάτων των εργαστηριακών αναλύσεων. Στη συνέχεια εφαρμόζεται το ArcGIS Geostatistical Analyst.

2.9 ArcGIS Geostatistical Analyst

Το ArcGIS Geostatistical Analyst χρησιμοποιεί ντετερμινιστικές και γεωστατιστικές μεθόδους προκειμένου να μοντελοποιήσει τις επιφάνειες. Περιλαμβάνει εργαλεία για χωρική ανάλυση των δεδομένων (spatial analysis) και ένα γεωστατιστικό μενού

(Geostatistical Wizard) που οδηγεί στη διαδικασία δημιουργίας μιας στατιστικά ορθής επιφάνειας. Οι νέες επιφάνειες που δημιουργούνται με τη βοήθεια της Γεωστατιστικής μπορούν να απεικονιστούν σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών. Με το εργαλείο αυτό, Geostatistical Analyst, επιτυγχάνεται ο συνδυασμός της Γεωστατιστικής και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

Η δημιουργία επιφανειών με το Geostatistical Analyst περιλαμβάνει τα 3 ακόλουθα βήματα-κλειδιά:

1. Διερευνητική Χωρική Ανάλυση των Δεδομένων (Exploratory spatial data analysis).
2. Ανάλυση της δομής της επιφάνειας (structural analysis).
3. Πρόβλεψη επιφανειών και αιτιολόγηση των αποτελεσμάτων (Surface prediction and assessment of results).

Η διερευνητική χωρική ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιεί τις γνωστές τιμές των δεδομένων για μια συγκεκριμένη περιοχή και αναλύει στατιστικά τα δεδομένα αυτά δημιουργώντας το ιστόγραμμα, την ανάλυση της τάσης των τιμών των μεταβλητών, το γράφημα των Quartiles, τα γραφήματα της ημιπαραλλακτικότητας (semivariogram) και της παραλλακτικότητας (covariance).

Με το Geostatistical Analyst υπάρχει η δυνατότητα να δημιουργήσουμε προβλέψεις με μεγάλη ακρίβεια για τις θέσεις στην ίδια περιοχή όπου δεν έχουν μετρηθεί οι τιμές της μεταβλητής ή των μεταβλητών. Επιπλέον, με τη βοήθεια του εργαλείου αυτού αιτιολογούνται οι στατιστικές ιδιότητες των δεδομένων όπως η χωρική παραλλακτικότητα, οι επιπτώσεις από τη μεταβλητή αυτή και οι γεωγραφικές τάσεις των χαρακτηριστικών των τιμών.

Η γεωστατιστική ανάλυση των δεδομένων αποτελείται από δύο φάσεις: τη μοντελοποίηση του διαγράμματος της ημιπαραλλακτικότητας ή της παραλλακτικότητας των τιμών των εξεταζομένων ιδιοτήτων ή μεταβλητών της υπό εξέταση περιοχής και την εφαρμογή της γεωστατιστικής μεθόδου Kriging.

Μεγάλος αριθμός από επιμέρους μεθόδους Kriging είναι διαθέσιμος για τη δημιουργία συνεχών επιφανειών χωρικής παραλλακτικότητας στη Γεωστατιστική ανάλυση και περιλαμβάνει την Ordinary Kriging, τη Simple Kriging, την Universal Kriging, την Indicator Kriging, τη Propability Kriging και τη Disjunctive Kriging.

Για όλες τις παραμέτρους που μελετήθηκαν, προκειμένου να γίνει η πρόβλεψη των αγνώστων τιμών χρησιμοποιήθηκε ευρύτατα η μέθοδος Ordinary Kriging.

Το geostatistical analyst παρέχει ένα αριθμό συγκεκριμένων μοντέλων για την επιλογή του καταλληλότερου. Αυτά τα μοντέλα είναι τα: Sphaerical, Circular, Tetraspherical, Pentaspherical, Exponential, Gaussian, Rational quadratic, Hole effect, K-Bessel, J-Bessel και Stable. Η επιλογή του μοντέλου επηρεάζει τη πρόβλεψη των αγνώστων τιμών, ιδιαίτερα όταν το σχήμα της καμπύλης διαφέρει σημαντικά. Κάθε μοντέλο είναι σχεδιασμένο ώστε να προσεγγίζει διαφορετικούς τύπους φαινομένων όσο το δυνατό καλύτερα.

Το διάγραμμα της ημιπαραλλακτικότητας (semivariogram/covariance wizard) χρησιμοποιήθηκε για να προσαρμοστεί το πιο κατάλληλο μοντέλο πρόβλεψης σε κάθε περίπτωση. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του καλύτερα προσαρμοσμένου μοντέλου, χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια για να απεικονιστεί σε χάρτη η συνεχής επιφάνεια της εκτίμησης των αγνώστων τιμών κάθε παραμέτρου.

Ποικίλοι τύποι χαρτών μπορούν να παραχθούν με τη βοήθεια της Γεωστατιστικής ανάλυσης συμπεριλαμβανομένων των χαρτών πρόβλεψης, των χαρτών πιθανότητας και αυτών που αφορούν τα ενδεχόμενα λάθη που προκύπτουν από τη πρόβλεψη του πιο κατάλληλου μοντέλου.

Αν και είναι σχετικά απλό να δημιουργηθεί ένας χάρτης με τη χρησιμοποίηση της Γεωστατιστικής Ανάλυσης, είναι απαραίτητο να εφαρμόζονται ορισμένα βήματα – στάδια:

- Προσθήκη επιπέδων και παρουσίαση τους σε βάση δεδομένων στο ArcMap.
- Προσδιορισμός των στατιστικών ιδιοτήτων των δεδομένων.
- Επιλογή του κατάλληλου μοντέλου για τη δημιουργία επιφάνειας (ESDA).
- Στατιστική επιβεβαίωση του κατάλληλου μοντέλου.
- Σύγκριση των επιφανειών που δημιουργήθηκαν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ- ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Αποτελέσματα των αναλύσεων των εδαφικών δειγμάτων

Α. Αλμυρός Μαγνησίας

Τα αποτελέσματα των εδαφολογικών αναλύσεων που έγιναν στην περιοχή του Αλμυρού Μαγνησίας παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον πίνακα 3.1, όπου φαίνονται οι μέσες, ελάχιστες και μέγιστες τιμές για τις εδαφικές ιδιότητες pH, οργανική ουσία, διαθέσιμος φώσφορος, φωσφορικά ιόντα.

Πίνακας 3.1 Μέση , μέγιστη και ελάχιστη τιμή των εδαφικών δειγμάτων.

| | pH | Οργανική ουσία (%) | P (mg/kg) | PO ₄ ³⁻ (mg/kg) |
|------|------|--------------------|-----------|---------------------------------------|
| mean | 6,88 | 2,996 | 24,6 | 18,5 |
| max | 8,24 | 4,376 | 31,4 | 23,6 |
| min | 5,19 | 1,294 | 15,8 | 11,9 |

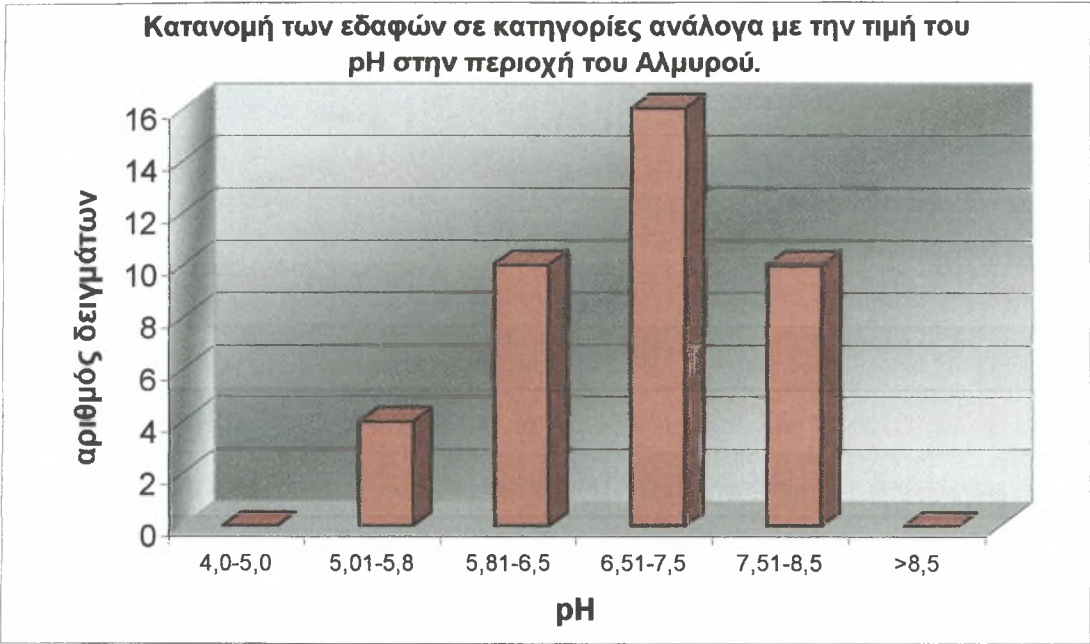
Η τιμή του pH των δειγμάτων κυμάνθηκε από 5,19 ως 6,88. Τα εδάφη κατατάσσονται σε κατηγορίες με βάση την τιμή του pH (πίνακας 3.2).

Πίνακας 3.2. Κατάταξη των εδαφών σε κατηγορίες ανάλογα με την τιμή του pH

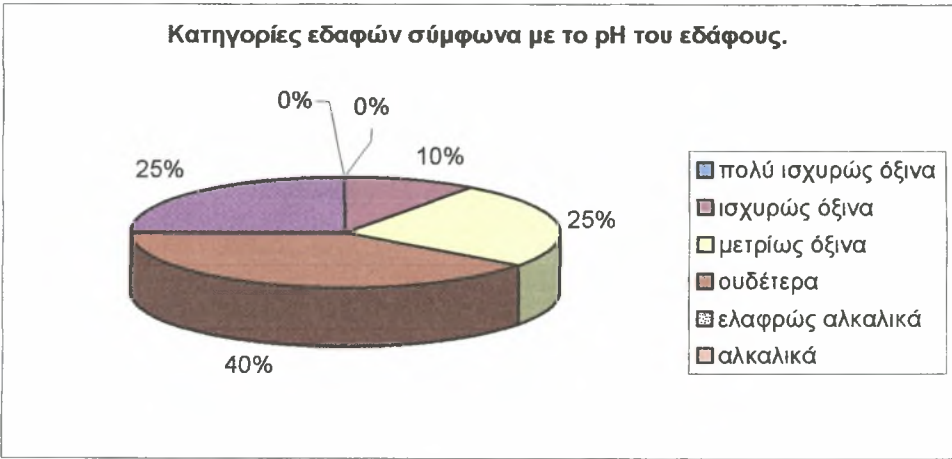
| Δείκτες Εδαφικού pH | Χαρακτηρισμός |
|---------------------|--------------------|
| 4-5 | Πολύ ισχυρώς όξινα |
| 5-5,8 | Ισχυρώς όξινα |
| 5,8-6,5 | Μετρίως όξινα |
| 6,5-7,5 | Ουδέτερα |
| 7,5-8,5 | Ελαφρώς αλκαλικά |
| >8,5 | Αλκαλικά |

Το 10% των εδαφών βρέθηκαν να είναι ισχυρώς όξινα, το 25% μετρίως όξινα, το 40% ουδέτερα, το 40% ελαφρώς αλκαλικά ενώ δεν βρέθηκαν πολύ ισχυρώς όξινα και αλκαλικά εδάφη.

Η κατανομή των δειγμάτων σύμφωνα με την τιμή του εδαφικού PH εμφανίζεται στα γραφήματα 3.1 και 3.2.



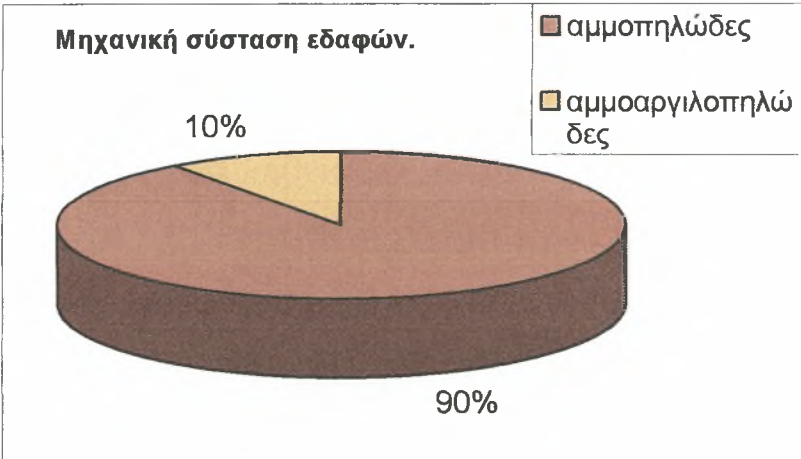
Γράφημα 3.1 Κατάταξη των εδαφών της περιοχής του Αλμυρού σε κατηγορίες ανάλογα με την τιμή του pH.



Γράφημα 3.2. Κατάταξη εδαφών της περιοχής Αλμυρού Ν. Μαγνησίας σύμφωνα με το pH του εδάφους.

Επίσης μετρήθηκε η μηχανική σύσταση των εδαφών και βρέθηκε ότι το 90% είναι αμμοπηλώδη και το 10% αργιλοπηλώδη.

Οι κατηγορίες των εδαφών σύμφωνα με την μηχανική τους σύσταση παρουσιάζονται στο γράφημα 3.3.



Γράφημα 3.3 Μηχανική σύσταση των εδαφών στην περιοχή του Αλμυρού Ν. Μαγνησίας.

Η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία των εδαφικών δειγμάτων κυμάνθηκε από 1,29 ως 4,38% με μέση τιμή 2,996%. Στον πίνακα 3.3 παρουσιάζονται σε κατηγορίες εδαφών με βάση τα ποσοστά σε οργανική ουσία.

Πίνακας 3.3. Κατηγορίες εδαφών με βάση τα ποσοστά σε οργανική ουσία.

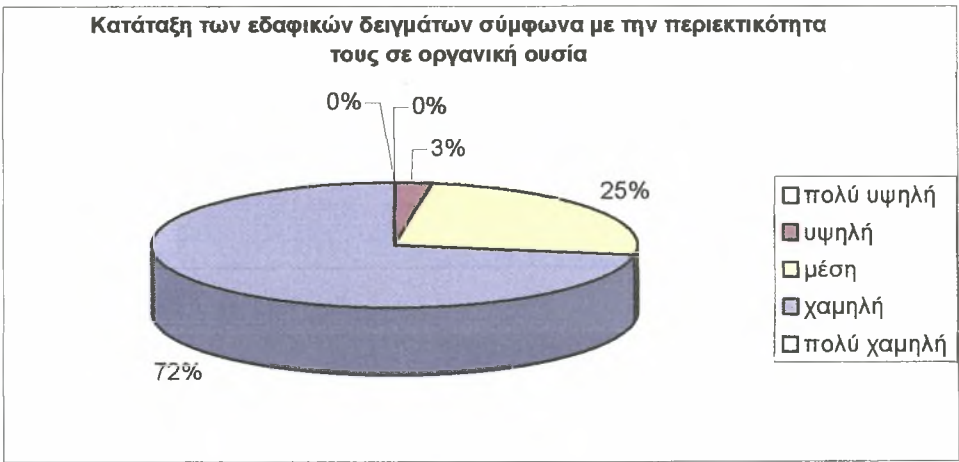
| Κατηγορίες | Οργανική ουσία % |
|-------------|------------------|
| Πολύ υψηλή | >6 |
| Υψηλή | 4,2-6 |
| Μέση | 2-4,2 |
| Χαμηλή | 1-2 |
| Πολύ χαμηλή | 0-1 |

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα το 72% των εδαφικών δειγμάτων στην περιοχή του Αλμυρού Ν. Μαγνησίας χαρακτηρίζονται από χαμηλή οργανική ουσία, το 25% από μέση και το 3% από υψηλή οργανική ουσία. Δεν βρέθηκαν εδαφικά δείγματα με πολύ υψηλή ή πολύ χαμηλή οργανική ουσία.

Στα γραφήματα 3.4 και 3.5 παρουσιάζεται η κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων σύμφωνα με τα ποσοστά σε οργανική ουσία.



Γράφημα 3.4. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αλμυρού σύμφωνα με την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία.



Γράφημα 3.5. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αλμυρού σύμφωνα με την περιεκτικότητά σε οργανική ουσία.

Διαθέσιμος φώσφορος και Φωσφορικά ιόντα

Η συγκέντρωση του διαθέσιμου φωσφόρου (μέθοδος Olsen) στα εδαφικά δείγματα κυμάνθηκε από 15,8 ως 31,4 mg/kg ξηρού εδάφους με μέση τιμή 24,6 mg/kg. Η κατάταξη των εδαφών με βάση τη διαθεσιμότητα του εδαφικού φωσφόρου παρατίθεται στον πίνακα 3.4.

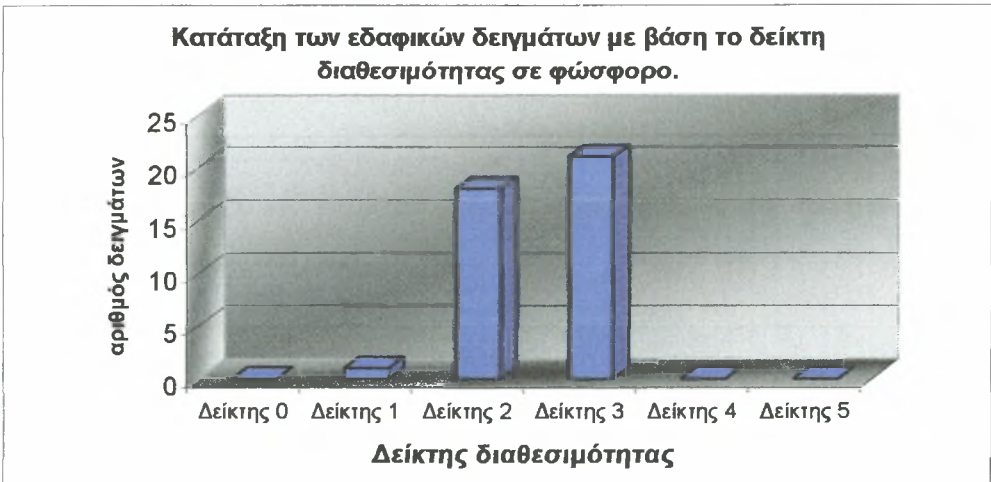
Πίνακας 3.4 Δείκτες διαθεσιμότητας εδαφικού φωσφόρου.

| Δείκτες | mg / kg ξ.ε. | Kg / στρ |
|---------|--------------|-----------|
| 0 | 0-9 | 0-3,4 |
| 1 | 10-15 | 3,5-5,6 |
| 2 | 16-25 | 5,7-9,4 |
| 3 | 26-45 | 9,5-16,9 |
| 4 | 46-70 | 17-26,3 |
| 5 | 71-100 | 26,4-37,5 |

Με βάση την περιεκτικότητα σε διαθέσιμο φώσφορο τα εδαφικά δείγματα της περιοχής του Αλμυρού κατατάσσονται ως εξής: το 3% με δείκτη διαθεσιμότητας 1, το 45% με δείκτη 2, και το 52% των δειγμάτων με δείκτη 3. (Γραφήματα 3.6 και 3.7)



Γράφημα 3.6. Κατανομή των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αλμυρού με βάση την περιεκτικότητα σε διαθέσιμο φώσφορο.



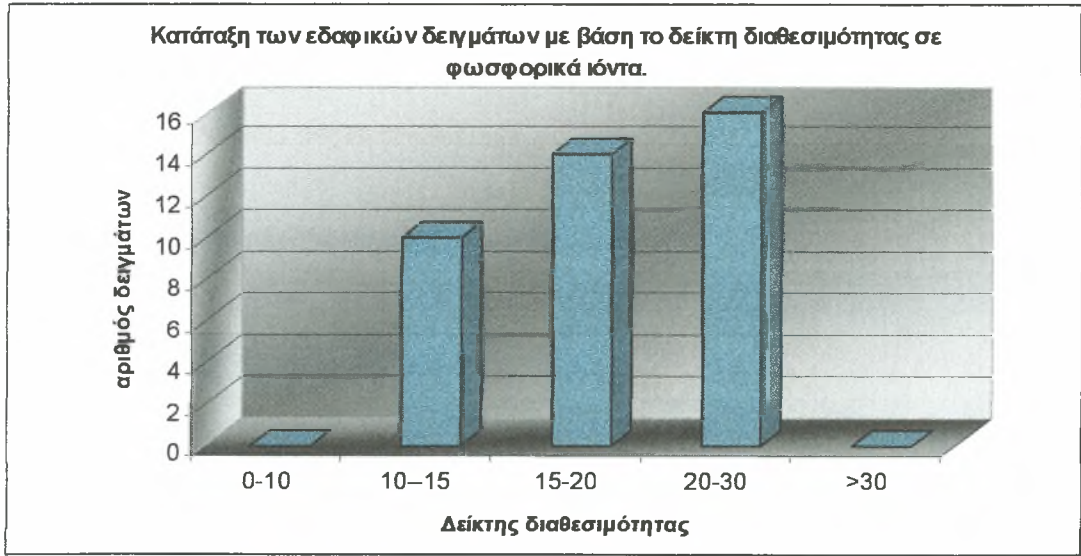
Γράφημα 3.7. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αλμυρού με βάση την περιεκτικότητα σε διαθέσιμο φώσφορο.

Η συγκέντρωση των φωσφορικών ιόντων στα εδαφικά δείγματα κυμάνθηκε από 11,9 ως 23,6 mg/kg ξηρού εδάφους με μέση τιμή 18,5 mg/kg. Η κατάταξη των εδαφών με βάση τη διαθεσιμότητα των φωσφορικών ιόντων παρατίθεται στον πίνακα 3.5.

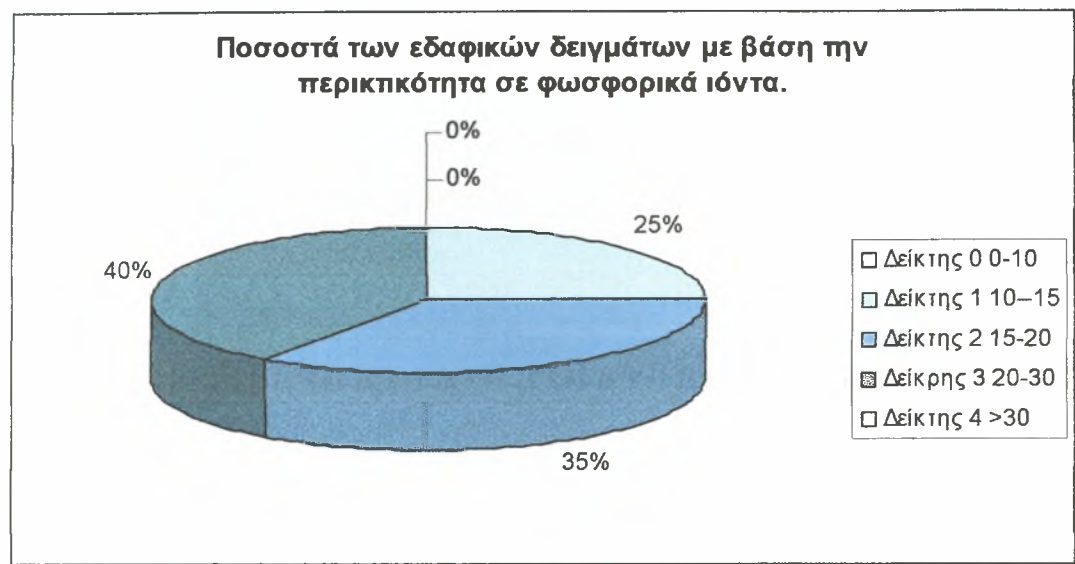
Πίνακας 3.5 Δείκτες διαθεσιμότητας φωσφορικών ιόντων.

| Δείκτες | mg / kg ξ.ε. |
|---------|--------------|
| 0 | 0-10 |
| 1 | 10-15 |
| 2 | 15-20 |
| 3 | 20-30 |
| 4 | >30 |

Σύμφωνα με τον πίνακα 3.5 τα δείγματα με βάση την περιεκτικότητα σε φωσφορικά ιόντα κατατάσσονται ως εξής: το 25% με δείκτη 1, το 35% με δείκτη 2, και το 40% των εδαφικών δειγμάτων με δείκτη 3. Στα γραφήματα 3.8 και 3.9 φαίνονται τα ποσοστά και η κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων με βάση την περιεκτικότητά τους σε φωσφορικά ιόντα.



Γράφημα 3.8. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αλμυρού με βάση την περιεκτικότητά σε φωσφορικά ιόντα



Γράφημα 3.9. Ποσοστά των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αλμυρού με βάση την περιεκτικότητα σε φωσφορικά ιόντα.

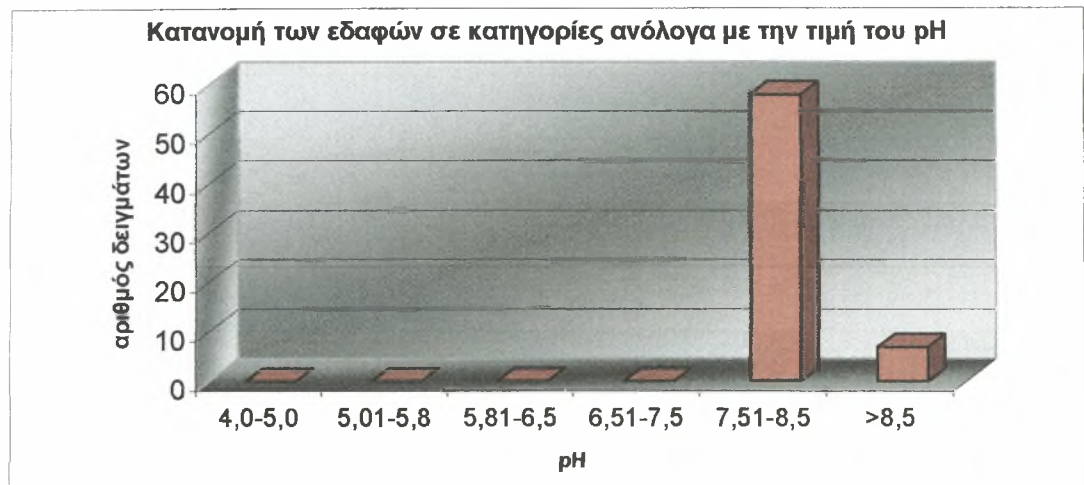
Β. Αερινό Μαγνησίας

Τα αποτελέσματα των εδαφολογικών αναλύσεων που έγιναν στην περιοχή του Αερινού Μαγνησίας παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον πίνακα 3.6, όπου φαίνονται οι μέσες, ελάχιστες και μέγιστες τιμές για τις εδαφικές ιδιότητες pH, οργανική ουσία, διαθέσιμος φώσφορος, φωσφορικά ιόντα.

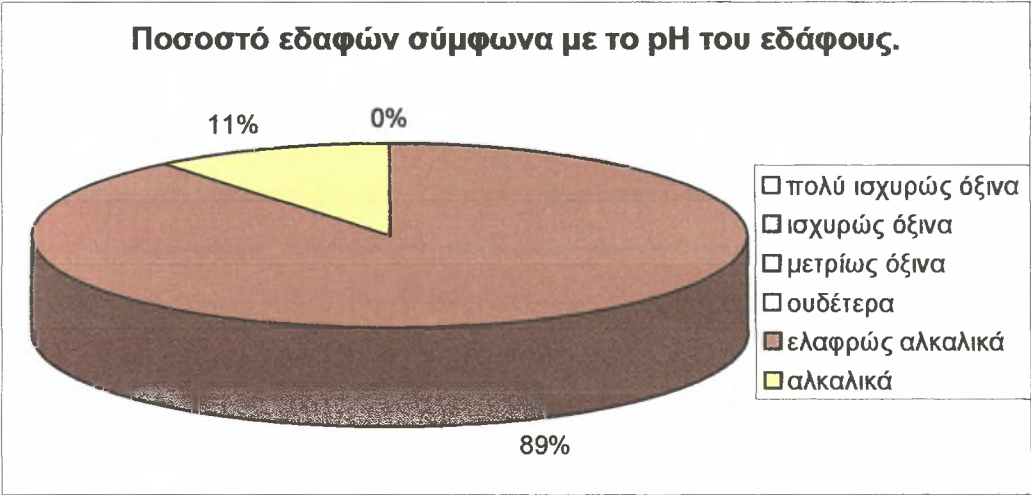
Πίνακας 3.6 Μέση , μέγιστη και ελάχιστη τιμή των εδαφικών δειγμάτων.

| | pH | Οργανική ουσία (%) | P (mg/kg) | PO ₄ ³⁻ (mg/kg) |
|------|------|--------------------------|--------------|--|
| mean | 8,33 | 1,54 | 22,43 | 16,83 |
| max | 8,62 | 4,11 | 41,25 | 30,94 |
| min | 8,07 | 1,10 | 9,90 | 7,43 |

Η τιμή του pH των δειγμάτων κυμάνθηκε από 8,07 ως 8,62 με μέση τιμή 8,33. Τα εδάφη κατατάσσονται σε κατηγορίες με βάση την τιμή του pH (πίνακας 3.2). Το 89% των εδαφών είναι ελαφρώς αλκαλικά και το 11% των εδαφών είναι αλκαλικά. Η κατανομή των δειγμάτων σύμφωνα με την τιμή του εδαφικού PH εμφανίζεται στα γραφήματα 3.10 και 3.11.

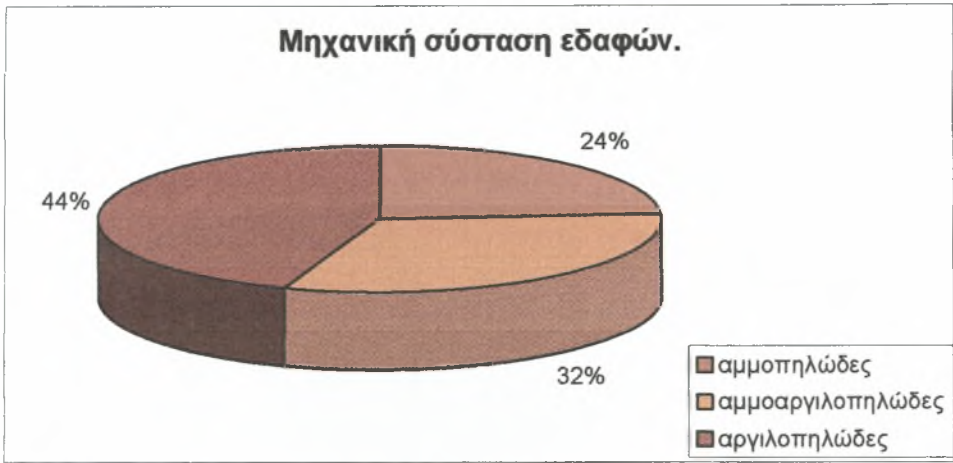


Γράφημα 3.10 Κατάταξη των εδαφών της περιοχής του Αερινού σε κατηγορίες ανάλογα με την τιμή του pH.



Γράφημα 3.11. Κατάταξη εδαφών της περιοχής Αλμυρού Ν. Μαγνησίας σύμφωνα με το pH του εδάφους.

Επίσης μετρήθηκε η μηχανική σύσταση των εδαφών και βρέθηκε ότι το 24% είναι αμμοπηλώδη και το 44% αργιλοπηλώδη και το 32% είναι αμμοαργιλοπηλώδη. Οι κατηγορίες των εδαφών σύμφωνα με την μηχανική τους σύσταση παρουσιάζονται στο γράφημα 3.12.



Γράφημα 3.12 Μηχανική σύσταση των εδαφών στην περιοχή του Αερινού Ν. Μαγνησίας

Η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία των εδαφικών δειγμάτων κυμάνθηκε από 1,10 ως 4,11% με μέση τιμή 1,54%. Στον πίνακα 3.3 παρουσιάζονται σε κατηγορίες εδαφών με βάση τα ποσοστά σε οργανική ουσία.

Σύμφωνα με τον πίνακα 3.3 το 92% των εδαφικών δειγμάτων στην περιοχή του Αερινού Ν. Μαγνησίας χαρακτηρίζονται από χαμηλή οργανική ουσία, το 8% από μέση οργανική ουσία. Δεν βρέθηκαν εδαφικά δείγματα με πολύ υψηλή ή πολύ χαμηλή οργανική ουσία.

Στα γραφήματα 3.13 και 3.14 παρουσιάζεται η κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων σύμφωνα με τα ποσοστά σε οργανική ουσία.



Γράφημα 3.13. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αερινού σύμφωνα με την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία

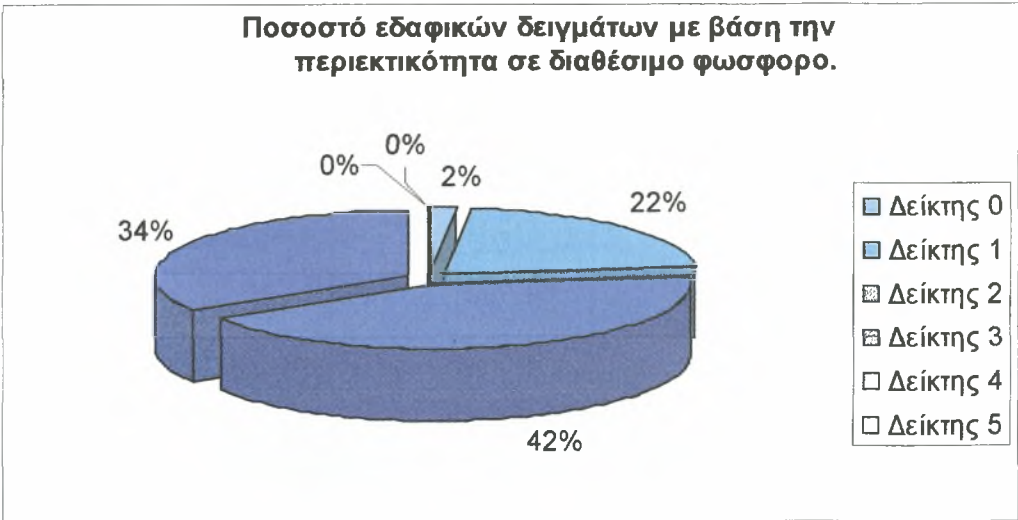


Γράφημα 3.14. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αερινού σύμφωνα με την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία

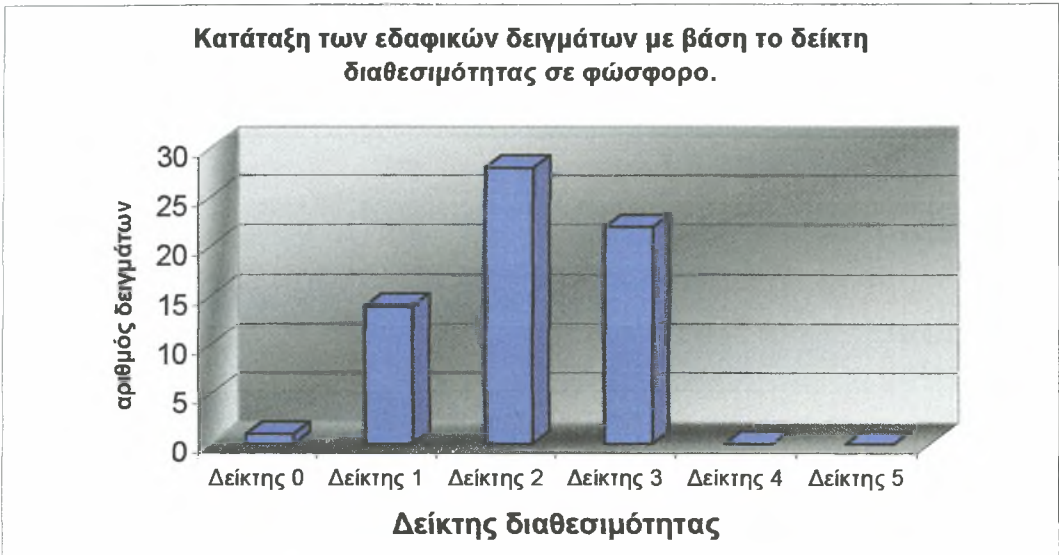
Διαθέσιμος φώσφορος και Φωσφορικά ιόντα

Η συγκέντρωση του διαθέσιμου φωσφόρου (μέθοδος Olsen) στα εδαφικά δείγματα κυμάνθηκε από 9,90 ως 41,25 mg/kg ξηρού εδάφους με μέση τιμή 22,43 mg/kg. Η κατάταξη των εδαφών με βάση τη διαθεσιμότητα του εδαφικού φωσφόρου παρατίθεται στον πίνακα 3.4.

Με βάση την περιεκτικότητα σε διαθέσιμο φώσφορο τα εδαφικά δείγματα της περιοχής του Αερινού κατατάσσονται ως εξής: το 2% με δείκτη διαθεσιμότητας 0, το 22% με δείκτη 1, και το 42% των δειγμάτων με δείκτη 2 και το 34% με δείκτη διαθεσιμότητας 3. (Γραφήματα 3.15 και 3.16)



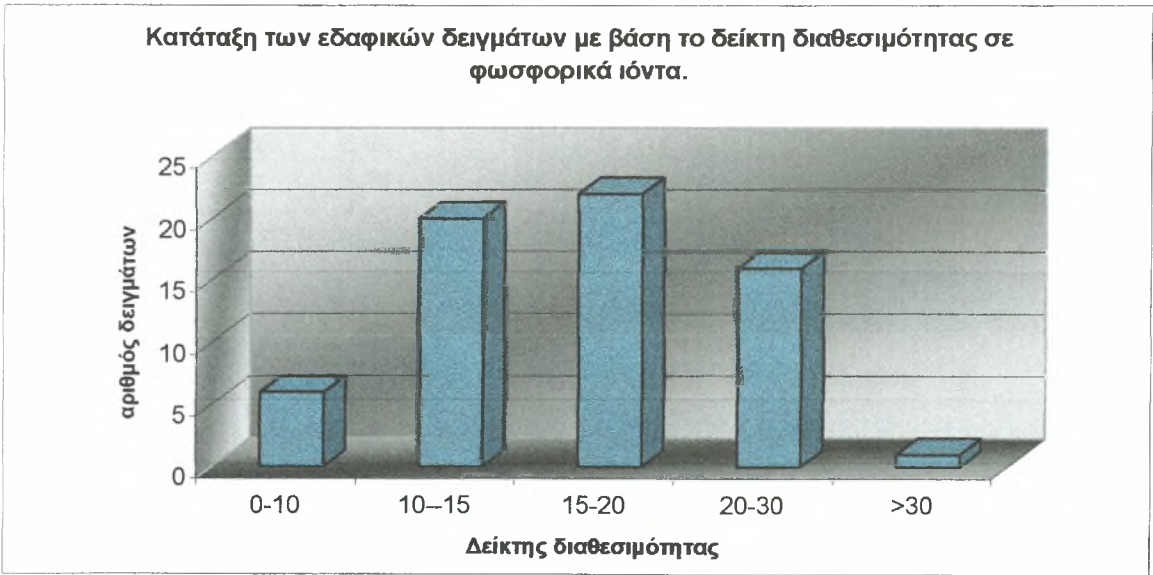
Γράφημα 3.15. Κατανομή των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αερινού με βάση την περιεκτικότητα σε διαθέσιμο φώσφορο.



Γράφημα 3.16. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αερινού με βάση την περιεκτικότητα σε διαθέσιμο φώσφορο.

Η συγκέντρωση των φωσφορικών ιόντων στα εδαφικά δείγματα κυμάνθηκε από 7,43 ως 30,94 mg/kg ξηρού εδάφους με μέση τιμή 16,83 mg/kg. Η κατάταξη των εδαφών με βάση τη διαθεσιμότητα των φωσφορικών ιόντων παρατίθεται στον πίνακα 3.5.

Σύμφωνα με τον πίνακα 3.5 τα δείγματα με βάση την περιεκτικότητα σε φωσφορικά ιόντα κατατάσσονται ως εξής: το 9% με δείκτη διαθεσιμότητας 0, το 31% με δείκτη 1, το 33% με δείκτη 2, το 25% των εδαφικών δειγμάτων με δείκτη 3 και το 2% με δείκτη διαθεσιμότητας 4. Στα γραφήματα 3.17 και 3.18 φαίνονται τα ποσοστά και η κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων με βάση την περιεκτικότητά τους σε φωσφορικά ιόντα



Γράφημα 3.17. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αερινού με βάση την περιεκτικότητα σε φωσφορικά ιόντα



Γράφημα 3.18. Ποσοστά των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αερινού με βάση την περιεκτικότητα σε φωσφορικά ιόντα.

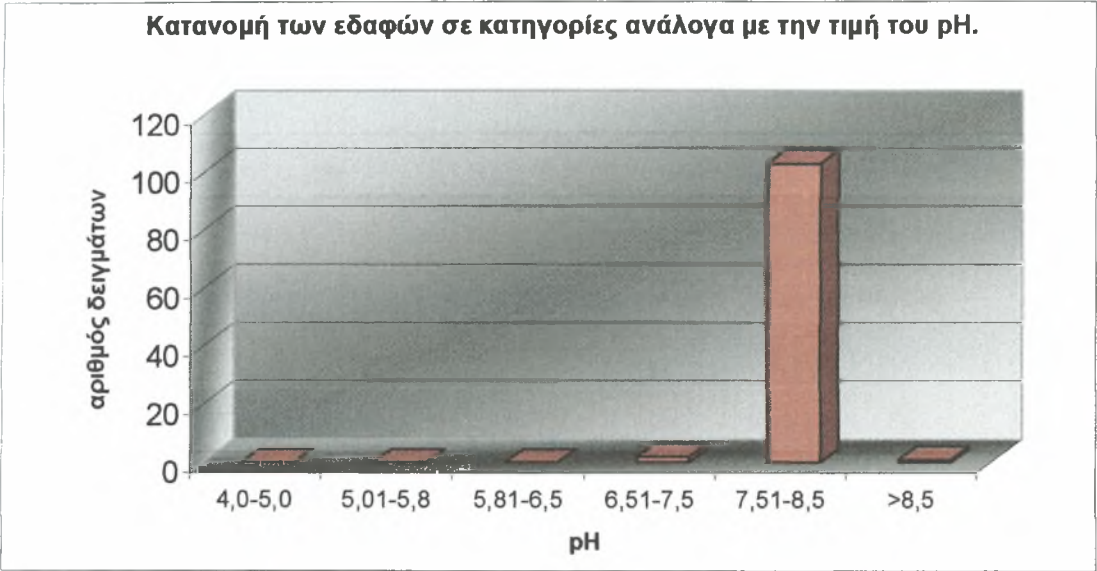
Γ. Άγιος Δημήτριος Μαγνησίας

Τα αποτελέσματα των εδαφολογικών αναλύσεων που έγιναν στην περιοχή του Αγίου Δημητρίου Ν.Μαγνησίας παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον πίνακα 3.7, όπου φαίνονται οι μέσες, ελάχιστες και μέγιστες τιμές για τις εδαφικές ιδιότητες pH, οργανική ουσία, νιτρώδη ιόντα, νιτρικά ιόντα, αμμωνιακά ιόντα, ολικό άζωτο, διαθέσιμος φώσφορος, φωσφορικά ιόντα, ανταλλάξιμο κάλιο.

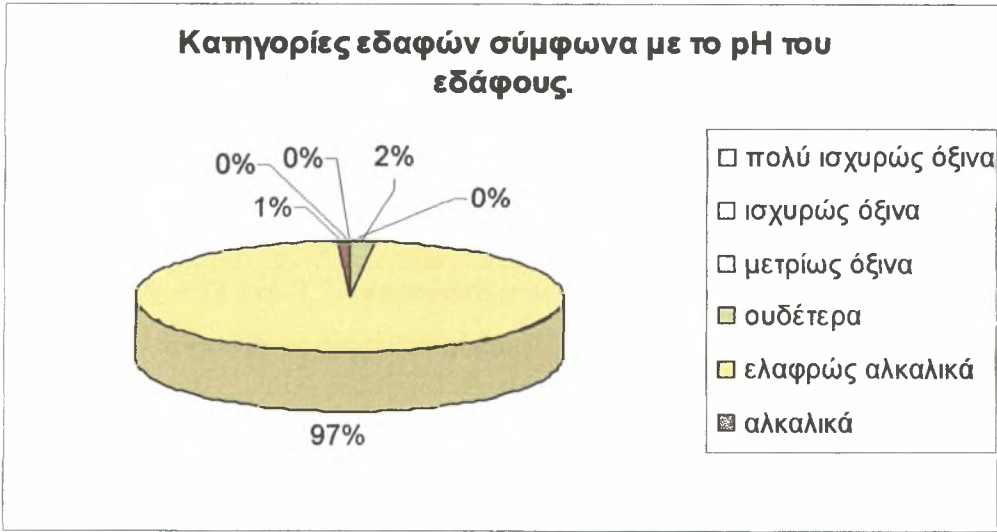
Πίνακας 3.7 Μέση , μέγιστη και ελάχιστη τιμή των εδαφικών δειγμάτων

| | pH | Οργανική ουσία (%) | P (mg/kg) | PO ₄ ³⁻ (mg/kg) |
|------|------|--------------------|-----------|---------------------------------------|
| mean | 8,03 | 1,93 | 28,79 | 21,58 |
| max | 8,56 | 2,20 | 44,20 | 33,15 |
| min | 7,45 | 1,55 | 10,45 | 7,84 |

Η τιμή του pH των δειγμάτων κυμάνθηκε από 7,45 ως 8,56 με μέση τιμή 8,03. Τα εδάφη κατατάσσονται σε κατηγορίες με βάση την τιμή του pH (πίνακας 3.2). Το 2% των εδαφών βρέθηκαν να είναι ουδέτερα, το 97% ελαφρώς αλκαλικά ενώ το 1% αλκαλικά εδάφη. Η κατανομή των δειγμάτων σύμφωνα με την τιμή του εδαφικού PH εμφανίζεται στα γραφήματα 3.19 και 3.20.



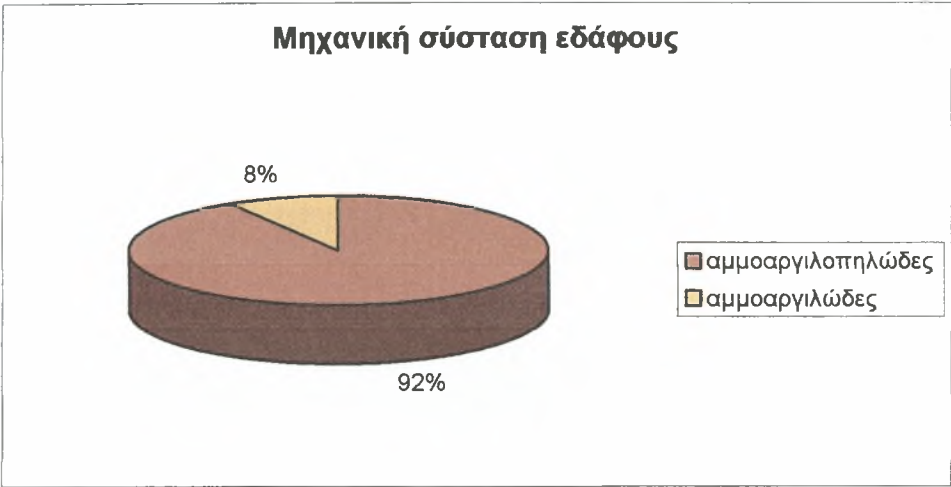
Γράφημα 3.19 Κατάταξη των εδαφών της περιοχής του Αγ.Δημητρίου σε κατηγορίες ανάλογα με την τιμή του pH.



Γράφημα 3.20. Κατάταξη εδαφών της περιοχής Αγ. Δημητρίου Ν. Μαγνησίας σύμφωνα με το pH του εδάφους.

Επίσης μετρήθηκε η μηχανική σύσταση των εδαφών και βρέθηκε ότι το 92% είναι αμμοαργιλοπυλώδες και το 8% αμμοαργιλώδες.

Οι κατηγορίες των εδαφών σύμφωνα με την μηχανική τους σύσταση παρουσιάζονται στο γράφημα 3.21.



Γράφημα 3.21 Μηχανική σύσταση των εδαφών στην περιοχή του Αγ. Δημητρίου Ν. Μαγνησίας.

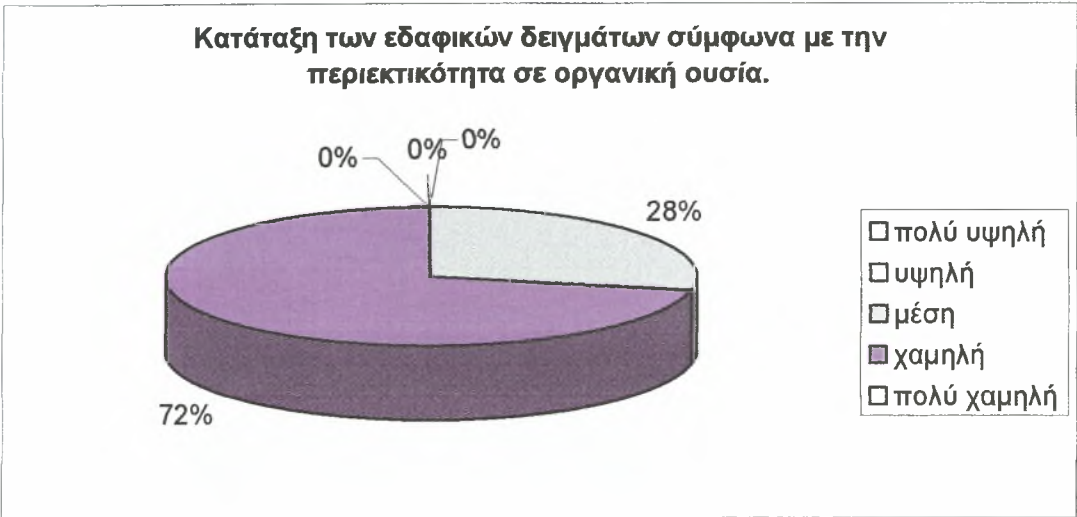
Η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία των εδαφικών δειγμάτων κυμάνθηκε από 1,55 ως 4,13% με μέση τιμή 2,20%. Στον πίνακα 3.3 παρουσιάζονται σε κατηγορίες εδαφών με βάση τα ποσοστά σε οργανική ουσία.

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα το 28% των εδαφικών δειγμάτων στην περιοχή του Αγ. Δημητρίου Ν. Μαγνησίας χαρακτηρίζονται από μέση οργανική ουσία, και το 72% από υψηλή οργανική ουσία. Δεν βρέθηκαν εδαφικά δείγματα με πολύ υψηλή ή πολύ χαμηλή οργανική ουσία.

Στα γραφήματα 3.22 και 3.23 παρουσιάζεται η κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων σύμφωνα με τα ποσοστά σε οργανική ουσία.



Γράφημα 3.22. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αγ. Δημητρίου σύμφωνα με την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία.

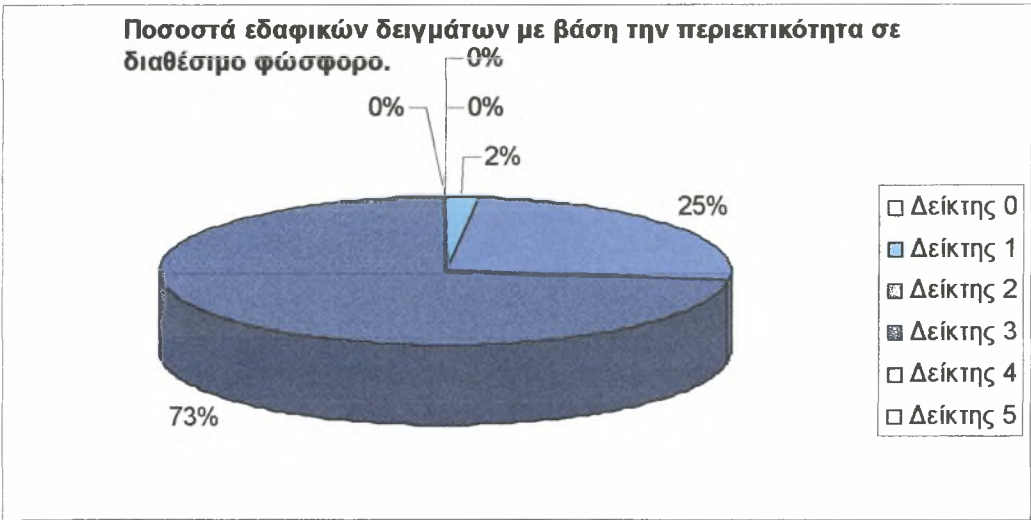


Γράφημα 3.23. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αγ. Δημητρίου σύμφωνα με την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία.

Διαθέσιμος φώσφορος και Φωσφορικά ιόντα

Η συγκέντρωση του διαθέσιμου φωσφόρου (μέθοδος Olsen) στα εδαφικά δείγματα κυμάνθηκε από 10,45 ως 44,20 mg/kg ξηρού εδάφους με μέση τιμή 28,79 mg/kg. Η κατάταξη των εδαφών με βάση τη διαθεσιμότητα του εδαφικού φωσφόρου παρατίθεται στον πίνακα 3.4.

Με βάση την περιεκτικότητα σε διαθέσιμο φώσφορο τα εδαφικά δείγματα της περιοχής του Αγ. Δημητρίου κατατάσσονται ως εξής: το 2% με δείκτη διαθεσιμότητας 1, το 25% με δείκτη 2, και το 73% των δειγμάτων με δείκτη 3. (Γραφήματα 3.24 και 3.25)



Γράφημα 3.24. Κατανομή των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αγ. Δημητρίου με βάση την περιεκτικότητα σε διαθέσιμο φώσφορο.

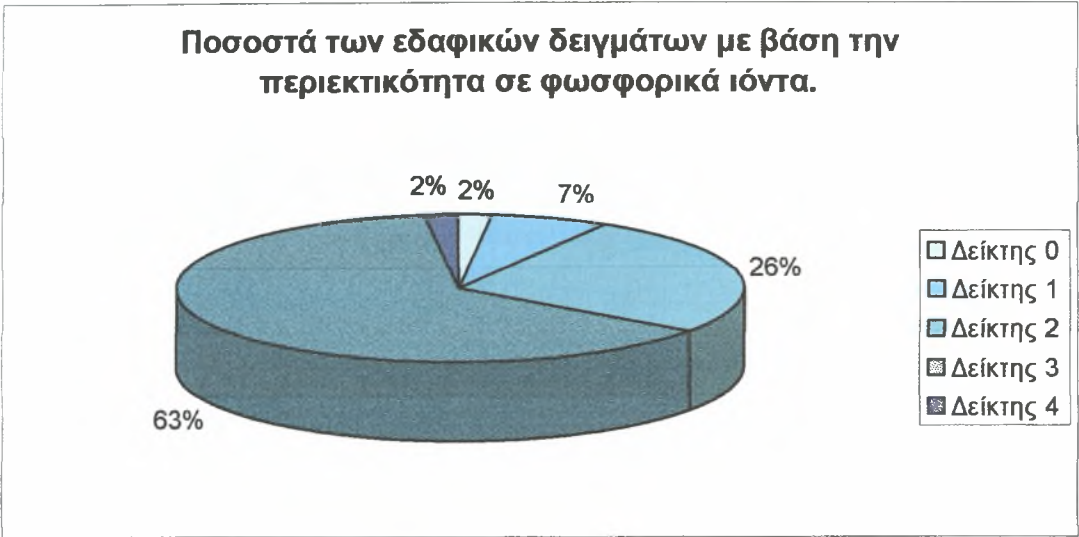


Γράφημα 3.25. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αγ. Δημητρίου με βάση την περιεκτικότητα σε διαθέσιμο φώσφορο.

Η συγκέντρωση των φωσφορικών ιόντων στα εδαφικά δείγματα κυμάνθηκε από 7,84 ως 33,15 mg/kg ξηρού εδάφους με μέση τιμή 21,58 mg/kg. Η κατάταξη των εδαφών με βάση τη διαθεσιμότητα των φωσφορικών ιόντων παρατίθεται στον πίνακα 3.5. Σύμφωνα με τον πίνακα 3.5 τα δείγματα με βάση την περιεκτικότητα σε φωσφορικά ιόντα κατατάσσονται ως εξής: το 2% με δείκτη 0, το 7% με δείκτη 1, το 26% με δείκτη 2, το 63% με δείκτη 3 και το 2% των εδαφικών δειγμάτων με δείκτη 4. Στα γραφήματα 3.26 και 3.27 φαίνονται τα ποσοστά και η κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων με βάση την περιεκτικότητά τους σε φωσφορικά ιόντα.



Γράφημα 3.26. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αγ. Δημητρίου με βάση την περιεκτικότητα σε φωσφορικά ιόντα



Γράφημα 3.27. Ποσοστά των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αγ. Δημητρίου με βάση την περιεκτικότητα σε φωσφορικά ιόντα.

Δ. Δρυμόνας Μαγνησίας

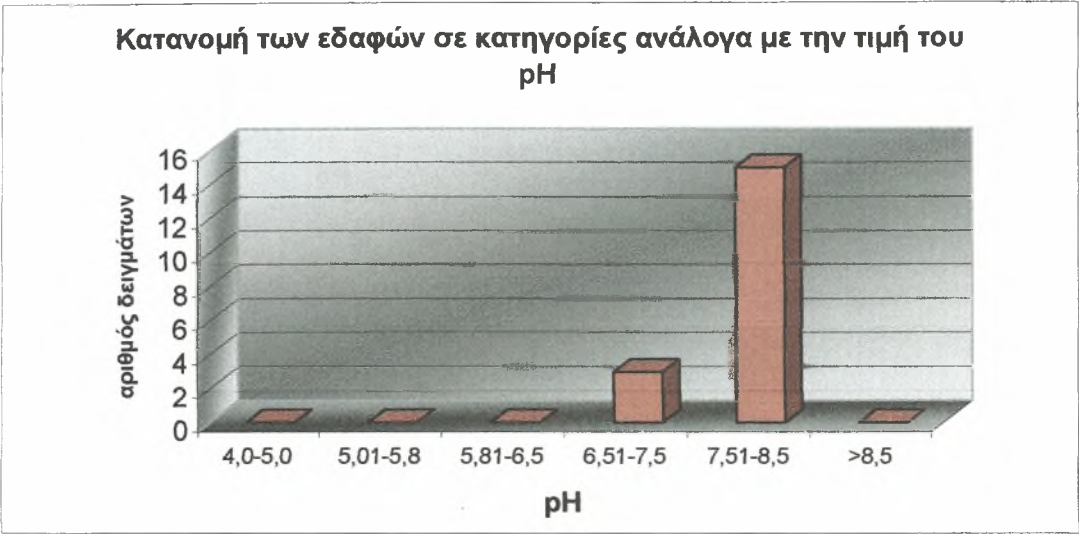
Τα αποτελέσματα των εδαφολογικών αναλύσεων που έγιναν στην περιοχή του Δρυμόνα Μαγνησίας παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον πίνακα 3.8, όπου φαίνονται οι μέσες, ελάχιστες και μέγιστες τιμές για τις εδαφικές ιδιότητες pH, διαθέσιμος φώσφορος, φωσφορικά ιόντα.

Πίνακας 3.8 Μέση , μέγιστη και ελάχιστη τιμή των εδαφικών δειγμάτων.

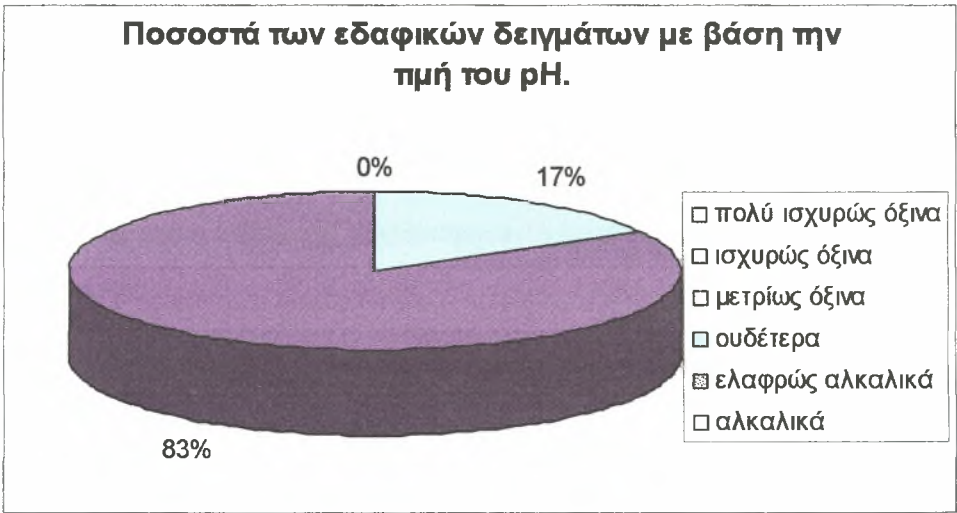
| | pH | Οργανική ουσία (%) | P (mg/kg) | PO ₄ ³⁻ (mg/kg) |
|------|------|--------------------|-----------|---------------------------------------|
| mean | 7,70 | 1,76 | 31,07 | 23,24 |
| max | 8,31 | 1,92 | 53,80 | 40,35 |
| min | 7,11 | 1,59 | 23,95 | 14,37 |

Η τιμή του pH των δειγμάτων κυμάνθηκε από 7,11 ως 8,31 με μέση τιμή 7,70. Τα εδάφη κατατάσσονται σε κατηγορίες με βάση την τιμή του pH (πίνακας 3.2). Το 17% ουδέτερα, το 83% ελαφρώς αλκαλικά ενώ δεν βρέθηκαν πολύ ισχυρώς όξινα και αλκαλικά εδάφη.

Η κατανομή των δειγμάτων σύμφωνα με την τιμή του εδαφικού PH εμφανίζεται στα γραφήματα 3.28 και 3.29.

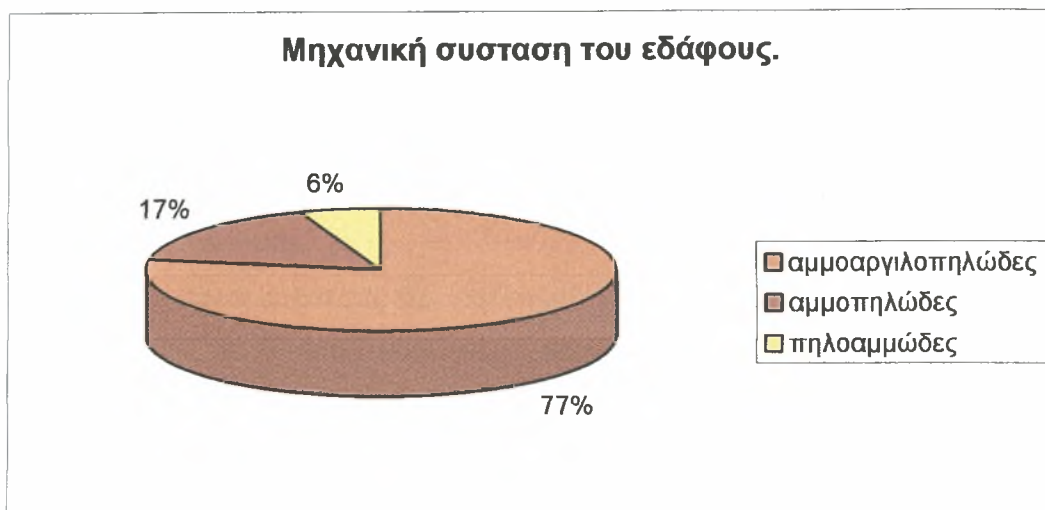


Γράφημα 3.28. Κατάταξη των εδαφών της περιοχής του Δρυμώνα σε κατηγορίες ανάλογα με την τιμή του pH.



Γράφημα 3.29. Κατάταξη εδαφών της περιοχής Δρυμώνα Ν. Μαγνησίας σύμφωνα με το pH του εδάφους.

Επίσης μετρήθηκε η μηχανική σύσταση των εδαφών και βρέθηκε ότι το 17% είναι αμμοπηλώδη το 77% αμμοαργιλοπηλώδη και το 6% πηλώδη. Οι κατηγορίες των εδαφών σύμφωνα με την μηχανική τους σύσταση παρουσιάζονται στο γράφημα 3.30.



Γράφημα 3.30. Μηχανική σύσταση των εδαφών στην περιοχή του Δρυμόνα Ν. Μαγνησίας.

Η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία των εδαφικών δειγμάτων κυμάνθηκε από 1,59 ως 1,92% με μέση τιμή 2,996%. Στον πίνακα 3.3 παρουσιάζονται σε κατηγορίες εδαφών με βάση τα ποσοστά σε οργανική ουσία.

Σύμφωνα με τον πίνακα 3.3 το 100% των εδαφικών δειγμάτων στην περιοχή του Δρυμόνα Ν. Μαγνησίας χαρακτηρίζονται από χαμηλή οργανική ουσία. Στο γράφημα 3.31 παρουσιάζεται η κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων σύμφωνα με τα ποσοστά σε οργανική ουσία.



Γράφημα 3.31. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Δρυμόνα σύμφωνα με την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία.

Διαθέσιμος φώσφορος και Φωσφορικά ιόντα

Η συγκέντρωση του διαθέσιμου φωσφόρου (μέθοδος Olsen) στα εδαφικά δείγματα κυμάνθηκε από 29,95 ως 53,80 mg/kg ξηρού εδάφους με μέση τιμή 31,07 mg/kg. Η κατάταξη των εδαφών με βάση τη διαθεσιμότητα του εδαφικού φωσφόρου παρατίθεται στον πίνακα 3.4.

Με βάση την περιεκτικότητα σε διαθέσιμο φώσφορο τα εδαφικά δείγματα της περιοχής του Αλμυρού κατατάσσονται ως εξής: το 17% με δείκτη διαθεσιμότητας 2, το 77% με δείκτη 3, και το 6% των δειγμάτων με δείκτη 4. (Γραφήματα 3.32 και 3.33)



Γράφημα 3.32. Κατανομή των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αρυνάνα με βάση την περιεκτικότητα σε διαθέσιμο φώσφορο.



Γράφημα 3.33. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αρυνάνα με βάση την περιεκτικότητα σε διαθέσιμο φώσφορο.

Η συγκέντρωση των φωσφορικών ιόντων στα εδαφικά δείγματα κυμάνθηκε από 14,37 ως 40,35 mg/kg ξηρού εδάφους με μέση τιμή 23,21 mg/kg. Η κατάταξη των εδαφών με βάση τη διαθεσιμότητα των φωσφορικών παρατίθεται στον πίνακα 3.5.

Σύμφωνα με τον πίνακα 3.5 τα δείγματα με βάση την περιεκτικότητα σε φωσφορικά ιόντα κατατάσσονται ως εξής: το 6 % με δείκτη 1, το 17% με δείκτη 2, το 66% με δείκτη 3, και το 11% των εδαφικών δειγμάτων με δείκτη 4. Στα γραφήματα 3.34 και 3.35 φαίνονται τα ποσοστά και η κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων με βάση την περιεκτικότητα τους σε φωσφορικά ιόντα.



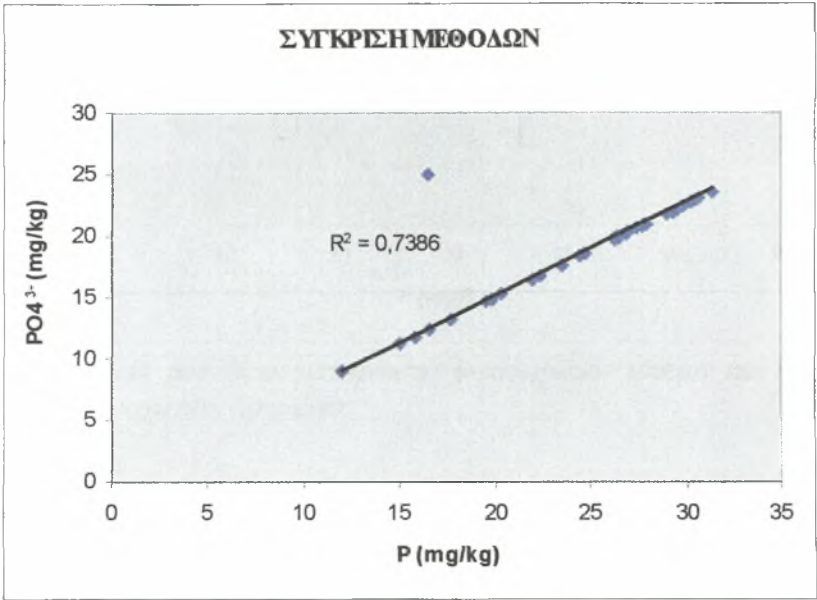
Γράφημα 3.34. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Δρυμόνα με βάση την περιεκτικότητα σε φωσφορικά ιόντα



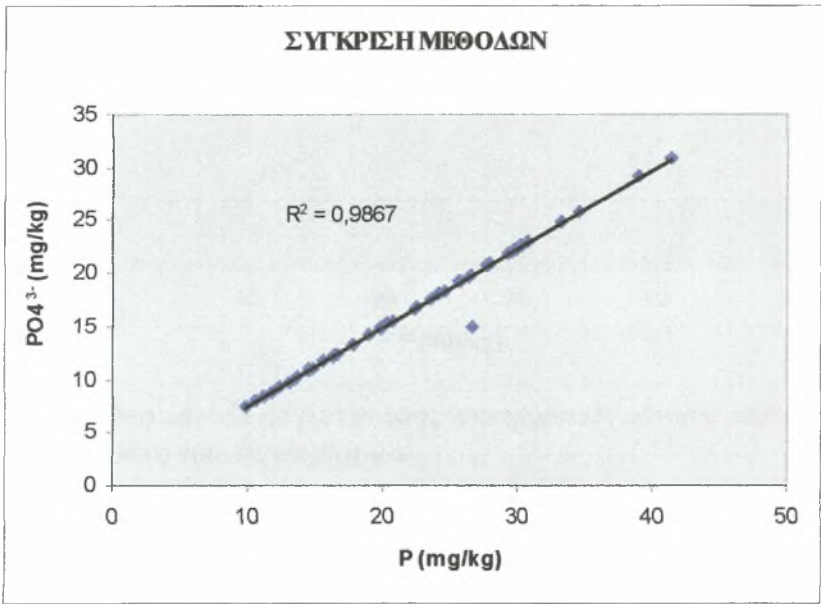
Γράφημα 3.35. Ποσοστά των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Δρυμόνα με βάση την περιεκτικότητα σε φωσφορικά ιόντα.

3.2 Σύγκριση μεθόδων

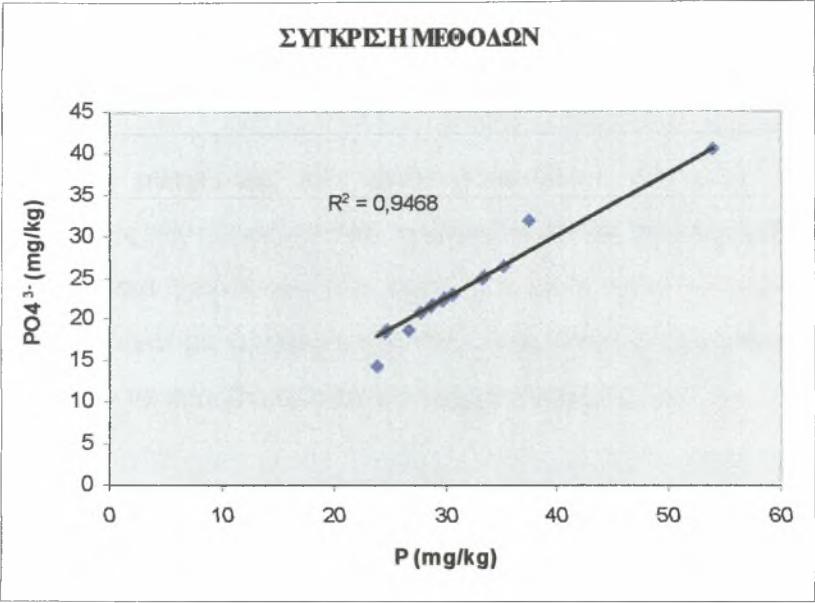
Στα γραφήματα που ακολουθούν απεικονίζεται η σχέση μεταξύ των φωσφορικών ιόντων που προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο της ιοντικής χρωματογραφίας και του διαθέσιμου φωσφόρου που προσδιορίστηκε με τη μέθοδο OLSEN.



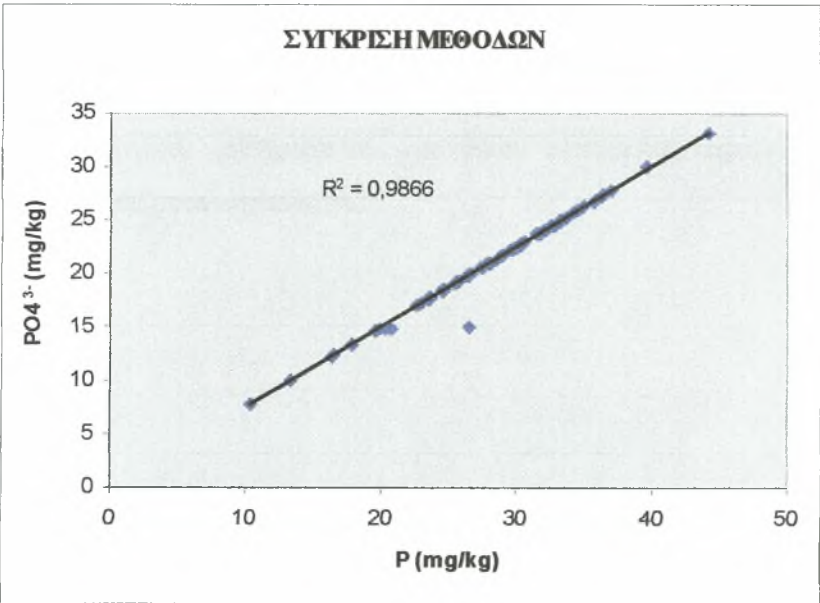
Γράφημα 3.36. Σχέση μεταξύ συγκέντρωσης φωσφορικών ιόντων και αφομοιώσιμου φωσφόρου στην περιοχή του Αλμυρού.



Γράφημα 3.37. Σχέση μεταξύ συγκέντρωσης φωσφορικών ιόντων και αφομοιώσιμου φωσφόρου στην περιοχή του Αερινού.



Γράφημα 3.38. Σχέση μεταξύ συγκέντρωσης φωσφορικών ιόντων και αφομοιώσιμου φωσφόρου στην περιοχή του Δρυμώνα.



Γράφημα 3.39. Σχέση μεταξύ συγκέντρωσης φωσφορικών ιόντων και αφομοιώσιμου φωσφόρου στην περιοχή του Αγ. Δημητρίου.

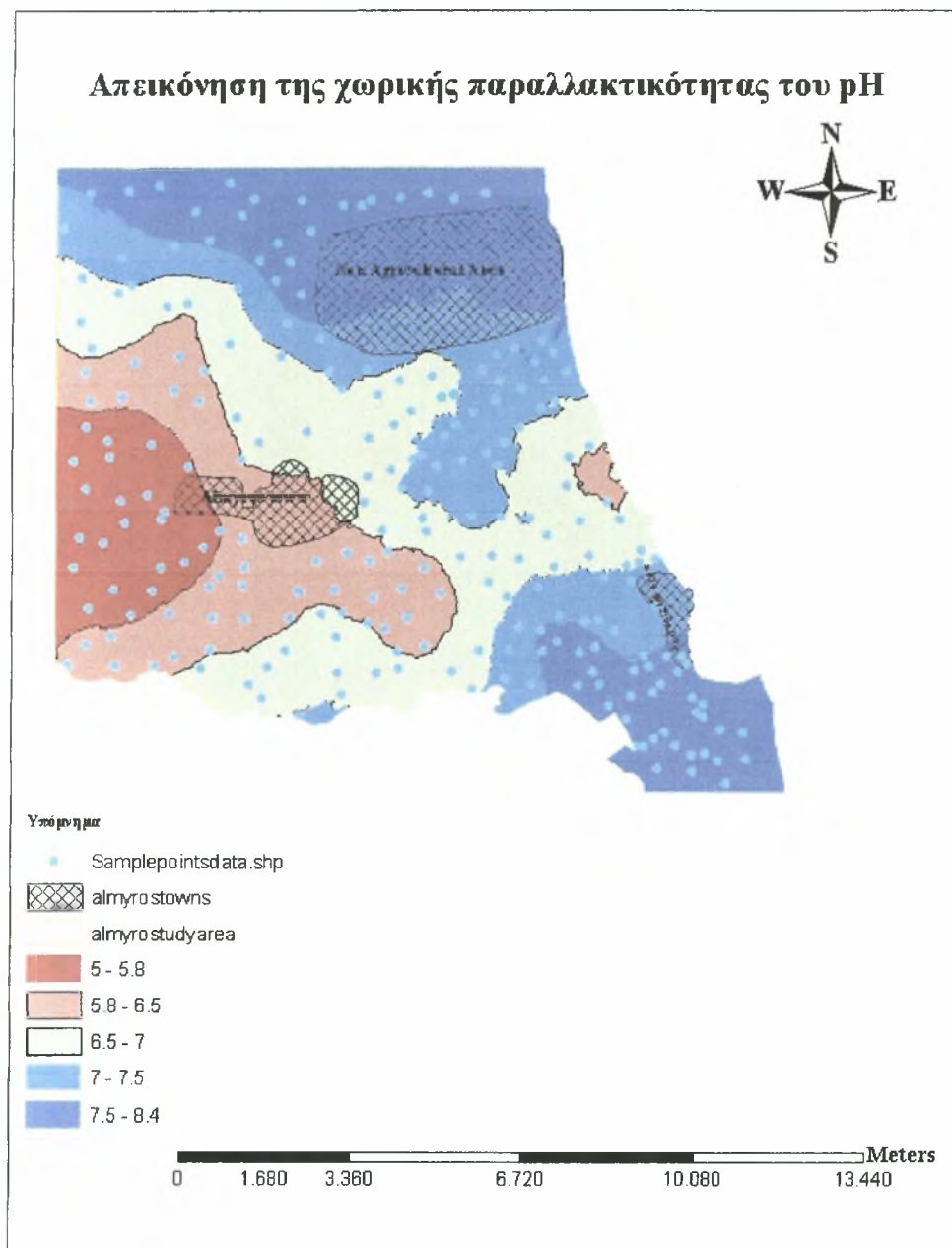
Από τη μελέτη των παραπάνω διαγραμμάτων προκύπτει ότι υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των φωσφορικών ιόντων και του διαθέσιμου φωσφόρου που υπάρχει στα εδαφικά δείγματα. Αυτό είναι εμφανές από τις υψηλές τιμές των συντελεστών συσχέτισης που εμφανίζονται στα παραπάνω διαγράμματα και οι οποίοι

έχουν ως εξής: για τον Αλμυρό ο συντελεστής συσχέτισης $R^2 = 0.7368$, για το Αερινό $R^2 = 0.9867$, για το Δρυμόνα $R^2 = 0.9468$ και για τον Αγ. Δημήτριο $R^2 = 0.9866$.

Από την ανάλυση συσχέτισης που πραγματοποιήθηκε προέκυψε η δυνατότητα μείωσης του κόστους των εδαφολογικών αναλύσεων καθώς αντί της μεθόδου OLSEN η οποία είναι αρκετά χρονοβόρα και ακριβή, είναι δυνατό αν υπολογιστούν τα επίπεδα του φωσφόρου με τη γρήγορη μέθοδο του ιοντικού χρωματογράφου μέσω της οποίας μπορούν να προσδιοριστούν ταυτόχρονα και άλλα ανιόντα.

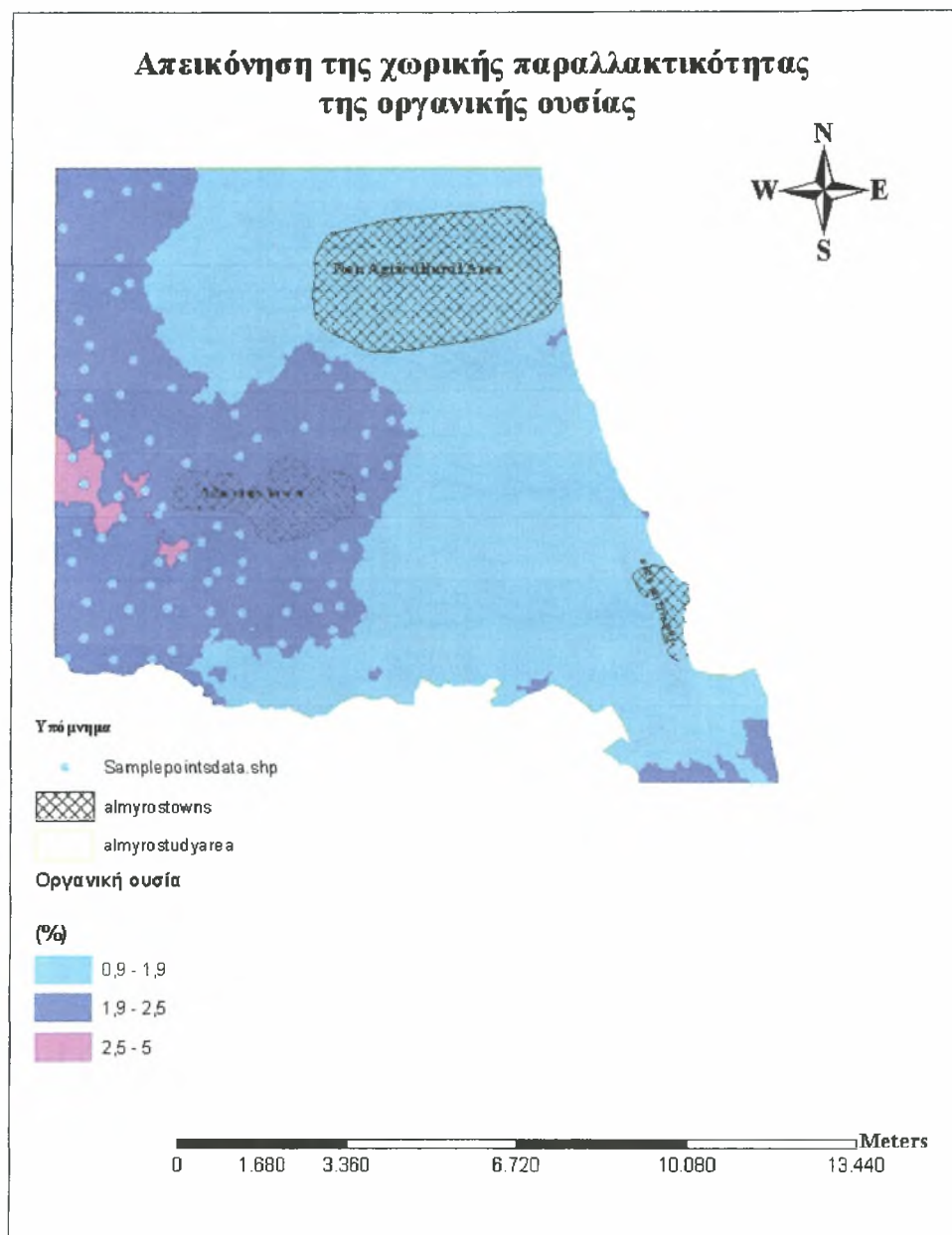
3. Χάρτες

Μετά τον ποσοτικό προσδιορισμό των φυσικοχημικών ιδιοτήτων και των συγκεντρώσεων των φωσφορικών ιόντων και του διαθέσιμου φωσφόρου των εδαφικών δειγμάτων τα δεδομένα τοποθετήθηκαν στη βάση δεδομένων που είχε προηγουμένα δομηθεί με χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και με χρήση των κατάλληλων μαθηματικών προτύπων κατασκευάστηκαν οι θεματικοί χάρτες που παρουσιάζονται παρακάτω.



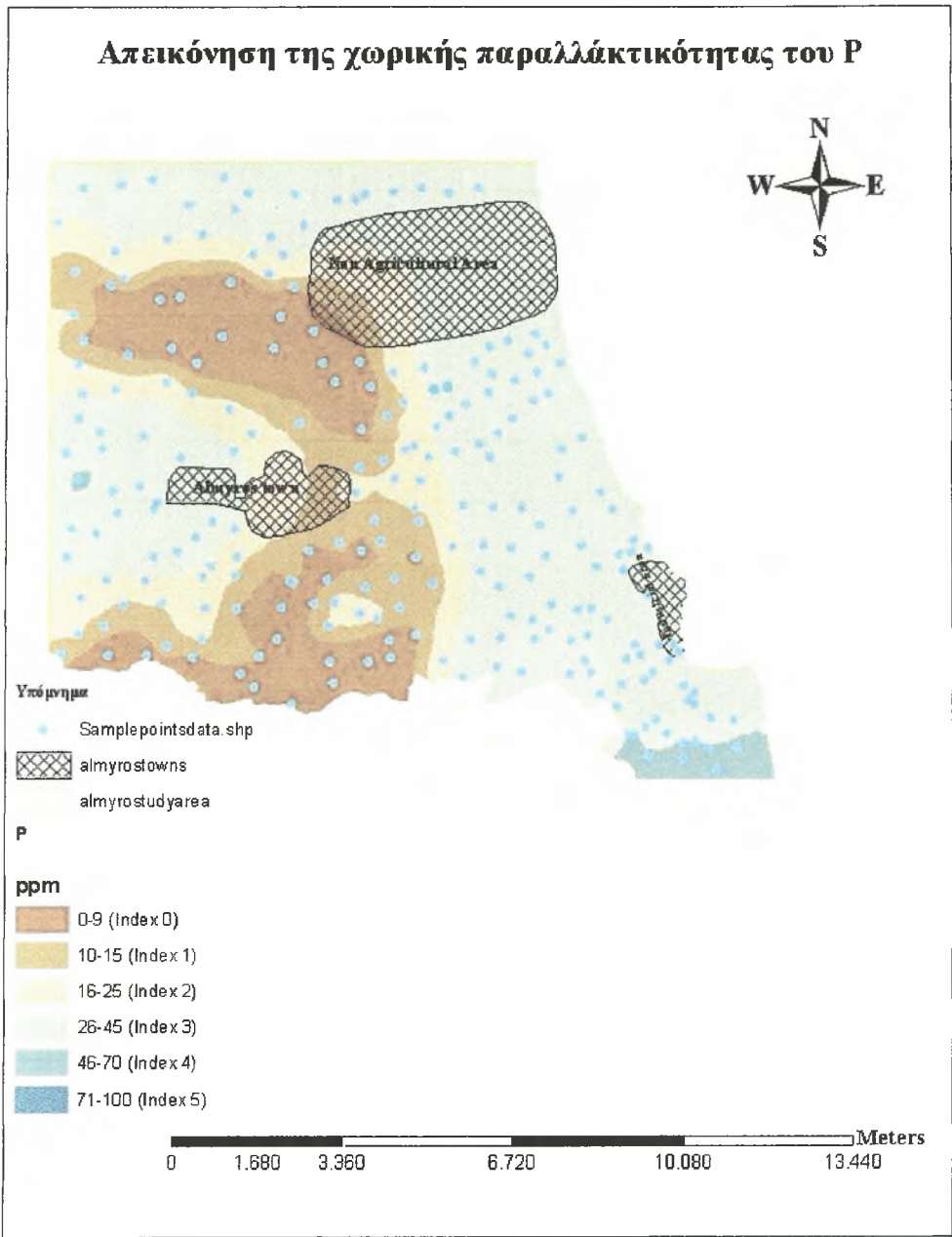
Χάρτης 1: Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας του pH

Στο χάρτη 1 απεικονίζεται η χωρική παραλλακτικότητα του pH. Βάσει αυτού παρατηρείται ότι δυτικά της περιοχής τα εδάφη είναι όξινα και ελαφρώς όξινα ενώ ανατολικά της περιοχής τα εδάφη χαρακτηρίζονται ως αλκαλικά και ελαφρώς αλκαλικά.



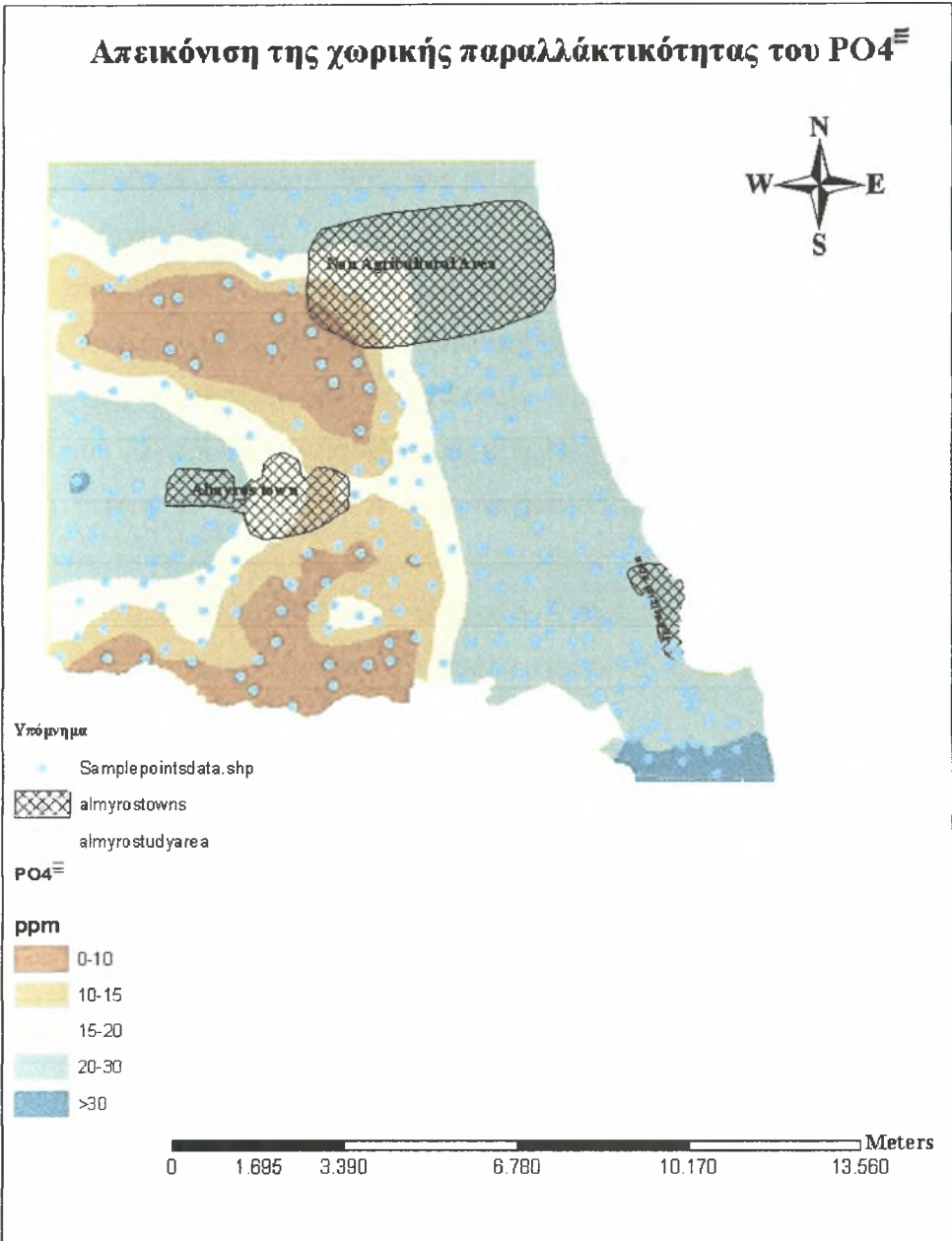
Χάρτης 2: Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας της οργανικής ουσίας

Στον χάρτη 2 απεικονίζεται η χωρική παραλλακτικότητα της οργανικής ουσίας. Βάσει αυτού παρατηρείται ένα μικρό ποσοστό αυξημένης οργανικής ουσίας στα δυτικά της περιοχής ενώ ανατολικά η οργανική ουσία βρίσκεται σε μικρό ποσοστό.



Χάρτης 3: Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας του P

Στον χάρτη 3 απεικονίζεται η χωρική παραλλακτικότητα του P. Βάσει αυτού παρατηρείται ότι σε ένα μικρό κομμάτι στα δυτικά έχουμε υψηλή συγκέντρωση P. Στα ανατολικά της περιοχής παρατηρείται υψηλή συγκέντρωση P.



Χάρτης 4: Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας των PO_4^{3-}

Από τον παραπάνω χάρτη προκύπτει ότι οι χαμηλότερες τιμές των φωσφορικών ιόντων βρίσκονται στο κέντρο της περιοχής μελέτης, όπου οι καλλιεργητικές πρακτικές δεν είναι ιδιαίτερα αυξημένες οπότε η χρήση λιπασμάτων είναι περιορισμένη. Αντίθετα υψηλές συγκεντρώσεις φωσφορικών ιόντων παρατηρούνται στα άκρα της περιοχής μελέτης λόγω της εκτεταμένης χρήσης φωσφορικών λιπασμάτων.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην περιοχή του Αλμυρού Μαγνησίας παρατηρήθηκαν τα εξής: Το 10% των εδαφών βρέθηκαν να είναι ισχυρώς όξινα, το 25% μετρίως όξινα, το 40% ουδέτερα, το 40% ελαφρώς αλκαλικά. Ποσοστό 90% των εδαφικών δειγμάτων είναι αμμοπηλώδη και το 10% αργιλοπηλώδη.

Το 72% των εδαφικών δειγμάτων χαρακτηρίζονται από χαμηλή οργανική ουσία, το 25% από μέση και το 3% από υψηλή οργανική ουσία.

Με βάση την περιεκτικότητα σε διαθέσιμο φώσφορο τα εδαφικά δείγματα της περιοχής του Αλμυρού κατατάσσονται ως εξής: το 3% με δείκτη διαθεσιμότητας 1, το 45% με δείκτη 2, και το 52% των δειγμάτων με δείκτη 3. Με βάση την περιεκτικότητα σε φωσφορικά ιόντα κατατάσσονται ως εξής: το 25% με δείκτη 1, το 35% με δείκτη 2, και το 40% των εδαφικών δειγμάτων με δείκτη 3. Επομένως τα εδαφικά δείγματα δεν παρουσίασαν υψηλή περιεκτικότητα σε φώσφορο, ούτε σε φωσφορικά ιόντα.

Στην περιοχή του Αερινού Μαγνησίας παρατηρήθηκαν τα εξής: Το 89% των εδαφών είναι ελαφρώς αλκαλικά και το 11% των εδαφών είναι αλκαλικά.

Το 24% των εδαφικών δειγμάτων είναι αμμοπηλώδη και το 44% αργιλοπηλώδη και το 32% είναι αμμοαργιλοπηλώδη.

Το 92% των εδαφικών δειγμάτων χαρακτηρίζονται φτωχά από οργανική ουσία, το 8% από μέση οργανική ουσία.

Με βάση την περιεκτικότητα σε διαθέσιμο φώσφορο τα εδαφικά δείγματα της περιοχής του Αερινού κατατάσσονται ως εξής: το 2% με δείκτη διαθεσιμότητας 0, το 22% με δείκτη 1, και το 42% των δειγμάτων με δείκτη 2 και το 34% με δείκτη διαθεσιμότητας 3. Με βάση την περιεκτικότητα σε φωσφορικά ιόντα κατατάσσονται ως εξής: το 9% με δείκτη διαθεσιμότητας 0, το 31% με δείκτη 1, το 33% με δείκτη 2, το 25% των εδαφικών δειγμάτων με δείκτη 3 και το 2% με δείκτη διαθεσιμότητας 4. Επομένως τα εδαφικά δείγματα δεν παρουσίασαν υψηλή περιεκτικότητα σε φώσφορο, ούτε σε φωσφορικά ιόντα.

Στην περιοχή του Αγίου Δημητρίου Μαγνησίας παρατηρήθηκαν τα εξής: Το 2% των εδαφών βρέθηκαν να είναι ουδέτερα, το 97% ελαφρώς αλκαλικά ενώ το 1% αλκαλικά εδάφη.

Το 92% των εδαφικών δειγμάτων είναι αμμοαργιλοπλώδες και το 8% αμμοαργιλώδες.

Το 28% των εδαφικών δειγμάτων στην περιοχή του Αγ. Δημητρίου Ν. Μαγνησίας χαρακτηρίζονται από μέση οργανική ουσία, και το 72% από υψηλή οργανική ουσία.

Με βάση την περιεκτικότητα σε διαθέσιμο φώσφορο τα εδαφικά δείγματα της περιοχής του Αγ. Δημητρίου κατατάσσονται ως εξής: το 2% με δείκτη διαθεσιμότητας 1, το 25% με δείκτη 2, και το 73% των δειγμάτων με δείκτη 3. Τα δείγματα με βάση την περιεκτικότητα σε φωσφορικά ιόντα κατατάσσονται ως εξής: το 2% με δείκτη 0, το 7% με δείκτη 1, το 26% με δείκτη 2, το 63% με δείκτη 3 και το 2% των εδαφικών δειγμάτων με δείκτη 4.

Επομένως τα εδαφικά δείγματα δεν παρουσίασαν υψηλή περιεκτικότητα σε φώσφορο, ούτε σε φωσφορικά ιόντα.

Τέλος, στην περιοχή του Δρυμόνα Μαγνησίας παρατηρήθηκαν τα εξής: Το 17% ουδέτερα, το 83% ελαφρώς αλκαλικά ενώ δεν βρέθηκαν πολύ ισχυρώς όξινα και αλκαλικά εδάφη.

Επίσης μετρήθηκε η μηχανική σύσταση των εδαφών και βρέθηκε ότι το 17% είναι αμμοπηλώδη το 77% αμμοαργιλοπηλώδη και το 6% πηλώδη.

Το 100% των εδαφικών δειγμάτων στην περιοχή του Δρυμόνα Ν. Μαγνησίας χαρακτηρίζονται από χαμηλή οργανική ουσία. Με βάση την περιεκτικότητα σε διαθέσιμο φώσφορο τα εδαφικά δείγματα της περιοχής του Αλμυρού κατατάσσονται ως εξής: το 17% με δείκτη διαθεσιμότητας 2, το 77% με δείκτη 3, και το 6% των δειγμάτων με δείκτη 4. Τα δείγματα με βάση την περιεκτικότητα σε φωσφορικά ιόντα κατατάσσονται ως εξής: το 6 % με δείκτη 1, το 17% με δείκτη 2, το 66% με δείκτη 3, και το 11% των εδαφικών δειγμάτων με δείκτη 4.

Επομένως τα εδαφικά δείγματα δεν παρουσίασαν υψηλή περιεκτικότητα σε φώσφορο, ούτε σε φωσφορικά ιόντα.

Αναφορικά με τη σύγκριση των συγκεντρώσεων των φωσφορικών ιόντων και του διαθέσιμου φωσφόρου (που προσδιορίζεται με τη μέθοδο OLSEN) προκύπτει ότι υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των φωσφορικών ιόντων και του διαθέσιμου φωσφόρου που υπάρχει στα εδαφικά δείγματα. Αυτό είναι εμφανές από τις υψηλές τιμές των συντελεστών συσχέτισης που εμφανίζονται στα αντίστοιχα διαγράμματα.

Έτσι, είναι δυνατό να υπολογιστεί η συγκέντρωση του διαθέσιμου φωσφόρου από τη συγκέντρωση των φωσφορικών ιόντων μέσω των εξισώσεων που προέκυψαν από τα προαναφερθέντα διαγράμματα.

Τέλος, με τη δημιουργία των θεματικών χαρτών της περιοχής δόθηκε μια πληρέστερη εικόνα της ρύπανσης από τη χρήση φωσφορικών και υπερφωσφορικών λιπασμάτων από τους παραγωγούς της περιοχής που μελετήθηκε στην παρούσα διατριβή.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας 1: Αποτελέσματα εδαφολογικών αναλύσεων στην περιοχή του Αλμυρού Ν. Μαγνησίας.

| | pH | Οργανική ουσία (%) | P (mg/kg) | PO ₄ ³⁻ (mg/kg) | Κοκκομετρική Σύσταση |
|------|------|--------------------------|---------------|--|-------------------------|
| | 5,19 | 1,29 | 15,8 | 11,9 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| | 5,65 | 1,34 | 16,5 | 12,4 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| | 5,67 | 1,40 | 16,5 | 12,4 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| | 5,72 | 1,52 | 16,5 | 12,4 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| | 5,87 | 1,54 | 16,5 | 12,4 | αμμοπηλώδες |
| | 5,89 | 1,55 | 17,63 | 13,2 | αμμοπηλώδες |
| | 5,98 | 1,60 | 19,56 | 14,7 | αμμοπηλώδες |
| | 5,98 | 1,64 | 19,56 | 14,7 | αμμοπηλώδες |
| | 5,98 | 1,78 | 19,8 | 14,9 | αμμοπηλώδες |
| | 6,12 | 1,80 | 19,85 | 14,9 | αμμοπηλώδες |
| | 6,23 | 2,33 | 20,36 | 15,3 | αμμοπηλώδες |
| | 6,44 | 2,34 | 22,39 | 16,8 | αμμοπηλώδες |
| | 6,45 | 2,46 | 23,5 | 17,6 | αμμοπηλώδες |
| | 6,47 | 2,48 | 23,5 | 17,6 | αμμοπηλώδες |
| | 6,65 | 2,52 | 24,5 | 18,4 | αμμοπηλώδες |
| | 6,78 | 2,54 | 24,8 | 18,6 | αμμοπηλώδες |
| | 6,85 | 2,64 | 24,8 | 18,6 | αμμοπηλώδες |
| | 6,87 | 2,85 | 24,8 | 18,6 | αμμοπηλώδες |
| | 6,98 | 2,87 | 24,9 | 18,7 | αμμοπηλώδες |
| | 6,98 | 3,34 | 26,3 | 19,7 | αμμοπηλώδες |
| | 6,98 | 3,42 | 26,35 | 19,8 | αμμοπηλώδες |
| | 6,98 | 3,43 | 26,5 | 19,9 | αμμοπηλώδες |
| | 6,98 | 3,58 | 26,5 | 19,9 | αμμοπηλώδες |
| | 7,06 | 3,65 | 26,58 | 19,9 | αμμοπηλώδες |
| | 7,16 | 3,67 | 26,8 | 20,1 | αμμοπηλώδες |
| | 7,23 | 3,79 | 26,9 | 20,2 | αμμοπηλώδες |
| | 7,24 | 3,80 | 27 | 20,3 | αμμοπηλώδες |
| | 7,32 | 3,82 | 27,5 | 20,6 | αμμοπηλώδες |
| | 7,35 | 3,89 | 27,8 | 20,9 | αμμοπηλώδες |
| | 7,45 | 3,90 | 27,85 | 20,9 | αμμοπηλώδες |
| | 7,56 | 3,93 | 28 | 21,0 | αμμοπηλώδες |
| | 7,65 | 3,96 | 28,4 | 21,3 | αμμοπηλώδες |
| | 7,65 | 3,98 | 29 | 21,8 | αμμοπηλώδες |
| | 7,71 | 4,09 | 29,3 | 22,0 | αμμοπηλώδες |
| | 7,80 | 4,12 | 29,56 | 22,2 | αμμοπηλώδες |
| | 7,96 | 4,12 | 29,8 | 22,4 | αμμοπηλώδες |
| | 7,98 | 4,12 | 30,25 | 22,7 | αμμοπηλώδες |
| | 8,00 | 4,15 | 30,47 | 22,9 | αμμοπηλώδες |
| | 8,12 | 4,21 | 30,7 | 23,0 | αμμοπηλώδες |
| | 8,24 | 4,38 | 31,4 | 23,6 | αμμοπηλώδες |
| mean | 6,88 | 3,00 | 24,62 | 18,5 | |
| max | 8,24 | 4,38 | 31,40 | 23,6 | |
| min | 5,19 | 1,29 | 15,80 | 11,9 | |

Πίνακας 2 : Αποτελέσματα εδαφολογικών αναλύσεων στην περιοχή του Αερινού Ν. Μαγνησίας.

| ρΗ | Οργανική ουσία (%) | P (mg/kg) | PO ₄ ³⁻ (mg/kg) | Κοκκομετρική Σύσταση |
|------|--------------------------|--------------|--|-------------------------|
| 8,07 | 1,10 | 9,9 | 7,4 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,08 | 1,12 | 10,61 | 8,0 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,08 | 1,12 | 11,21 | 8,4 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,09 | 1,12 | 11,82 | 8,9 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,11 | 1,13 | 12,42 | 9,3 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,12 | 1,20 | 13,03 | 9,8 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,14 | 1,21 | 13,56 | 10,2 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,15 | 1,21 | 13,63 | 10,2 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,15 | 1,22 | 13,66 | 10,2 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,17 | 1,22 | 14,5 | 10,9 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,19 | 1,23 | 14,6 | 11,0 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,19 | 1,23 | 14,8 | 11,1 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,19 | 1,23 | 14,8 | 11,1 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,20 | 1,23 | 15,6 | 11,7 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,21 | 1,25 | 15,6 | 11,7 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,21 | 1,27 | 16,25 | 12,2 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,21 | 1,28 | 16,5 | 12,4 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,21 | 1,28 | 16,5 | 12,4 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,21 | 1,28 | 16,58 | 12,4 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,22 | 1,29 | 16,58 | 12,4 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,22 | 1,32 | 17,8 | 13,4 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,23 | 1,32 | 17,8 | 13,4 | αμμοπηλώδες |
| 8,24 | 1,36 | 18,99 | 14,2 | αμμοπηλώδες |
| 8,24 | 1,37 | 19,8 | 14,9 | αμμοπηλώδες |
| 8,25 | 1,39 | 19,8 | 14,9 | αμμοπηλώδες |
| 8,25 | 1,40 | 19,89 | 14,9 | αμμοπηλώδες |
| 8,25 | 1,42 | 20,36 | 15,3 | αμμοπηλώδες |
| 8,26 | 1,42 | 20,36 | 15,3 | αμμοπηλώδες |
| 8,27 | 1,42 | 20,69 | 15,5 | αμμοπηλώδες |
| 8,29 | 1,43 | 22,3 | 16,7 | αμμοπηλώδες |
| 8,32 | 1,43 | 22,53 | 16,9 | αμμοπηλώδες |
| 8,32 | 1,43 | 23,5 | 17,6 | αμμοπηλώδες |
| 8,35 | 1,45 | 23,5 | 17,6 | αμμοπηλώδες |
| 8,35 | 1,47 | 23,5 | 17,6 | αμμοπηλώδες |
| 8,36 | 1,49 | 24,1 | 18,1 | αμμοπηλώδες |
| 8,36 | 1,49 | 24,5 | 18,4 | αμμοπηλώδες |
| 8,38 | 1,49 | 24,5 | 18,4 | αμμοπηλώδες |
| 8,39 | 1,50 | 24,5 | 18,4 | αργιλοπηλώδες |
| 8,39 | 1,51 | 24,56 | 18,4 | αργιλοπηλώδες |
| 8,39 | 1,52 | 24,58 | 18,4 | αργιλοπηλώδες |
| 8,40 | 1,52 | 25,6 | 19,2 | αργιλοπηλώδες |
| 8,40 | 1,53 | 25,6 | 19,2 | αργιλοπηλώδες |
| 8,41 | 1,53 | 25,8 | 19,4 | αργιλοπηλώδες |
| 8,41 | 1,54 | 26,3 | 19,7 | αργιλοπηλώδες |
| 8,41 | 1,56 | 26,3 | 19,7 | αργιλοπηλώδες |
| 8,42 | 1,59 | 26,5 | 19,9 | αργιλοπηλώδες |
| 8,42 | 1,62 | 26,54 | 19,9 | αργιλοπηλώδες |
| 8,43 | 1,62 | 26,6 | 20,0 | αργιλοπηλώδες |

| | | | | | |
|------|------|------|-------|------|---------------|
| | 8,43 | 1,63 | 27,7 | 20,8 | αργιλοπηλώδες |
| | 8,44 | 1,65 | 27,8 | 20,9 | αργιλοπηλώδες |
| | 8,47 | 1,70 | 27,89 | 20,9 | αργιλοπηλώδες |
| | 8,47 | 1,70 | 28 | 21,0 | αργιλοπηλώδες |
| | 8,48 | 1,77 | 29,3 | 22,0 | αργιλοπηλώδες |
| | 8,48 | 1,79 | 29,5 | 22,1 | αργιλοπηλώδες |
| | 8,48 | 1,86 | 29,7 | 22,3 | αργιλοπηλώδες |
| | 8,49 | 1,87 | 29,8 | 22,4 | αργιλοπηλώδες |
| | 8,49 | 1,88 | 30,2 | 22,7 | αργιλοπηλώδες |
| | 8,50 | 1,92 | 30,25 | 22,7 | αργιλοπηλώδες |
| | 8,51 | 1,96 | 30,25 | 22,7 | αργιλοπηλώδες |
| | 8,51 | 1,99 | 30,25 | 22,7 | αργιλοπηλώδες |
| | 8,52 | 2,12 | 30,69 | 23,0 | αργιλοπηλώδες |
| | 8,54 | 2,14 | 33,2 | 24,9 | αργιλοπηλώδες |
| | 8,59 | 2,24 | 34,56 | 25,9 | αργιλοπηλώδες |
| | 8,61 | 2,38 | 38,95 | 29,2 | αργιλοπηλώδες |
| | 8,62 | 4,11 | 41,25 | 30,9 | αργιλοπηλώδες |
| mean | 8,33 | 1,54 | 22,43 | 16,8 | |
| max | 8,62 | 4,11 | 41,25 | 30,9 | |
| min | 8,07 | 1,10 | 9,90 | 7,4 | |

Πίνακας 3 : Αποτελέσματα εδαφολογικών αναλύσεων στην περιοχή του Δρυμόνα Ν. Μαγνησίας.

| | pH | Οργανική ουσία (%) | P (mg/kg) | PO ₄ ³⁻ (mg/kg) | Κοκκομετρική Σύσταση |
|------|------|--------------------------|---------------|--|-------------------------|
| | 7,11 | 1,59 | 23,95 | 14,4 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| | 7,32 | 1,61 | 24,68 | 18,5 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| | 7,45 | 1,68 | 24,78 | 18,6 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| | 7,56 | 1,69 | 26,8 | 18,8 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| | 7,61 | 1,70 | 27,82 | 20,9 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| | 7,62 | 1,72 | 28,7 | 21,5 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| | 7,66 | 1,73 | 28,9 | 21,7 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| | 7,68 | 1,73 | 29,8 | 22,4 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| | 7,69 | 1,75 | 29,8 | 22,4 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| | 7,71 | 1,77 | 29,85 | 22,4 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| | 7,72 | 1,77 | 29,85 | 22,4 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| | 7,74 | 1,78 | 30,56 | 22,9 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| | 7,74 | 1,81 | 30,58 | 22,9 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| | 7,76 | 1,84 | 33,25 | 24,9 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| | 7,81 | 1,85 | 33,4 | 25,1 | αμμοπηλώδες |
| | 7,86 | 1,86 | 35,26 | 26,4 | αμμοπηλώδες |
| | 8,25 | 1,86 | 37,45 | 31,8 | αμμοπηλώδες |
| | 8,31 | 1,92 | 53,8 | 40,4 | πηλοαμμώδες |
| mean | 7,70 | 1,76 | 31,07 | 23,2 | |
| max | 8,31 | 1,92 | 53,80 | 40,4 | |
| min | 7,11 | 1,59 | 23,95 | 14,4 | |

Πίνακας 4: Αποτελέσματα εδαφολογικών αναλύσεων στην περιοχή του Αγ. Δημητρίου Ν. Μαγνησίας.

| pH | Οργανική ουσία (%) | P (mg/kg) | PO ₄ ³⁻ (mg/kg) | Κοκκομετρική Σύσταση |
|------|--------------------------|--------------|--|-------------------------|
| 7,45 | 1,55 | 10,45 | 7,84 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,45 | 1,56 | 13,25 | 9,94 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,56 | 1,63 | 16,35 | 12,26 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,78 | 1,69 | 16,5 | 12,38 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,78 | 1,73 | 17,8 | 13,35 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,81 | 1,76 | 19,56 | 14,67 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,81 | 1,76 | 19,85 | 14,89 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,82 | 1,76 | 20,36 | 14,86 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,82 | 1,78 | 20,69 | 14,90 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,84 | 1,79 | 22,63 | 16,97 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,84 | 1,79 | 23 | 17,25 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,85 | 1,81 | 23,5 | 17,63 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,85 | 1,82 | 23,56 | 17,67 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,86 | 1,82 | 23,56 | 17,67 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,86 | 1,84 | 23,56 | 17,67 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,86 | 1,84 | 23,56 | 17,67 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,87 | 1,84 | 23,6 | 17,70 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,88 | 1,84 | 23,65 | 17,74 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,88 | 1,84 | 23,69 | 17,77 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,88 | 1,84 | 24,50 | 18,38 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,88 | 1,84 | 24,56 | 18,42 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,89 | 1,84 | 24,56 | 18,42 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,89 | 1,85 | 24,58 | 18,44 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,89 | 1,85 | 24,58 | 18,44 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,89 | 1,85 | 24,78 | 18,59 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,90 | 1,85 | 25,45 | 19,09 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,91 | 1,86 | 25,6 | 19,20 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,91 | 1,86 | 25,63 | 19,22 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,91 | 1,86 | 25,69 | 19,27 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,91 | 1,86 | 26,35 | 19,76 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,93 | 1,87 | 26,35 | 19,76 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,93 | 1,87 | 26,5 | 19,88 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,94 | 1,87 | 26,5 | 19,88 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,95 | 1,87 | 26,5 | 19,88 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,95 | 1,88 | 26,58 | 19,94 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,95 | 1,88 | 26,59 | 19,94 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,95 | 1,88 | 26,59 | 19,94 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,95 | 1,88 | 27,3 | 20,48 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,96 | 1,88 | 27,5 | 20,63 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,96 | 1,88 | 27,6 | 20,70 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,96 | 1,89 | 27,7 | 20,78 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,97 | 1,89 | 27,85 | 20,89 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,98 | 1,89 | 27,85 | 20,89 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,98 | 1,89 | 27,9 | 20,93 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,98 | 1,91 | 28 | 21,00 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,98 | 1,91 | 28,47 | 21,35 | αμμοαργιλοπηλώδες |

| | | | | |
|------|------|-------|-------|-------------------|
| 7,98 | 1,91 | 28,8 | 21,60 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,99 | 1,91 | 28,8 | 21,60 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,99 | 1,92 | 28,90 | 21,68 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,99 | 1,92 | 29 | 21,75 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,00 | 1,92 | 29,56 | 22,17 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,00 | 1,92 | 29,56 | 22,17 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,01 | 1,92 | 29,63 | 22,22 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,01 | 1,93 | 29,8 | 22,35 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,02 | 1,93 | 29,8 | 22,35 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,04 | 1,93 | 29,85 | 22,39 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,04 | 1,93 | 29,86 | 22,40 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,05 | 1,93 | 29,89 | 22,42 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,05 | 1,94 | 29,9 | 22,43 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,05 | 1,94 | 29,9 | 22,43 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,05 | 1,94 | 30,12 | 22,59 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,06 | 1,95 | 30,2 | 22,65 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,06 | 1,95 | 30,25 | 22,69 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,07 | 1,95 | 30,25 | 22,69 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,07 | 1,96 | 30,26 | 22,70 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,07 | 1,96 | 30,26 | 22,70 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,07 | 1,96 | 30,26 | 22,70 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,07 | 1,96 | 30,56 | 22,92 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,08 | 1,96 | 30,59 | 22,94 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,09 | 1,96 | 31,5 | 23,63 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,11 | 1,97 | 31,56 | 23,67 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,11 | 1,98 | 31,6 | 23,70 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,11 | 1,98 | 31,69 | 23,77 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,11 | 1,98 | 32 | 24,00 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,12 | 1,98 | 32,18 | 24,14 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,12 | 1,99 | 32,26 | 24,20 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,12 | 2,01 | 32,52 | 24,39 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,12 | 2,01 | 32,58 | 24,44 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,12 | 2,01 | 32,58 | 24,44 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,13 | 2,03 | 32,65 | 24,49 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,13 | 2,03 | 32,69 | 24,52 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,13 | 2,03 | 33,1 | 24,83 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,13 | 2,04 | 33,2 | 24,90 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,14 | 2,04 | 33,2 | 24,90 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,15 | 2,04 | 33,25 | 24,94 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,16 | 2,04 | 33,56 | 25,17 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,16 | 2,05 | 33,56 | 25,17 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,19 | 2,05 | 33,56 | 25,17 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,19 | 2,06 | 33,56 | 25,17 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,21 | 2,07 | 33,56 | 25,17 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,21 | 2,08 | 34,25 | 25,69 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,21 | 2,08 | 34,56 | 25,92 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,21 | 2,08 | 34,56 | 25,92 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,23 | 2,11 | 34,56 | 25,92 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,24 | 2,12 | 34,56 | 25,92 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,26 | 2,12 | 34,57 | 25,93 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,26 | 2,12 | 34,77 | 26,08 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,27 | 2,12 | 35 | 26,25 | αμμοαργιλώδες |

| | | | | | |
|------|------|------|-------|-------|---------------|
| | 8,31 | 2,13 | 35,6 | 26,70 | αμμοαργιλώδες |
| | 8,33 | 2,13 | 35,8 | 26,85 | αμμοαργιλώδες |
| | 8,35 | 2,13 | 36,23 | 27,17 | αμμοαργιλώδες |
| | 8,38 | 2,14 | 36,23 | 27,17 | αμμοαργιλώδες |
| | 8,40 | 2,14 | 36,45 | 27,34 | αμμοαργιλώδες |
| | 8,44 | 2,17 | 37 | 27,75 | αμμοαργιλώδες |
| | 8,45 | 2,19 | 39,58 | 30,08 | αμμοαργιλώδες |
| | 8,56 | 2,2 | 44,2 | 33,15 | αμμοαργιλώδες |
| mean | 8,03 | 1,93 | 28,79 | 21,58 | |
| max | 8,56 | 2,20 | 44,20 | 33,15 | |
| min | 7,45 | 1,55 | 10,45 | 7,84 | |

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Addiscott T.M., Whitmore A.P., Powlson D.S., ‘Farming, Fertilizers and the Nitrate Problem’, CAB International – World services to agriculture, 7 – 9.

Al – Dabbagh, S., Forman, D., Bryson, D., Stratton, I. and Doll, R. (1986). Mortality of nitrate fertilizer workers. *British Journal of Industrial Medicine* 43, 507 – 515.

Anderson, G., (1980). Assessing organic phosphorus in soils. p. 411-431. In F.E. Khasawneh et al. (ed.) *The Role of Phosphorus in Agriculture*, ASA-CSSA-SSSA, USA.

Αναλογίδης Α. Δημήτριος 2000. Έδαφος θρεπτικά στοιχεία και φυτική παραγωγή. Εκδόσεις Αγρότυπος Α.Ε. Αθήνα.

Bache, B.W., (1964). Aluminum and iron phosphate studies relating to soils. II. Reactions between phosphate and hydrous oxides. *J. Soil Sci.* 15:110-116

Barber, S.A, (1980). *The Role of Phosphorus in Agriculture*, Chapter 21. ASA-CSSA-SSSA, USA.

Barrow, N.J., (1961). ‘Phosphorus in soil organic matter’. *Soils Fert.*, 24:169.

Barrow, N.J., (1980). Evaluation and utilization of residual phosphorus in soils. In F.E. Khasawneh et al. (ed.) *The Role of Phosphorus in Agriculture*, ASA-CSSA-SSSA, USA.

Barrow, N.J. (1983). On the reversibility of phosphate sorption by soils. *J. Soil Sci.* 34: 751-758.

Berger, K.C. and E. Truog, 1939. Boron determination in soils and plants. *Ind. Eng. Chem. Anal. (II)*. pp. 540-545.

Beresford, S.A. (1985). Is nitrate in the drinking water associated with gastric cancer in the urban United Kingdom? *International Journal of Epidemiology* 14, 57 – 63.

Bingham, F.T., (1962). Chemical soil tests for available phosphorus. *Soil Sci.* 94: 87-95. In *Soil Science Society of America, 1990: Soil Testing and Plant Analysis*, 3rd ed. SSSA.

Bockman O. C., (1994). Best Agricultural Practice for the Protection of Air. *Proceedings No 360. The Fertilizer Society, Peterborough U.K.*

Bouwman, A.F., (1996). Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils. *Nutrient cycling in Agrosystems* 46: 53 – 70.

Bower, C. A. and L. V. Wilcox, (1965). Soluble salts. In C. A. Black (ed.). *Methods of soils analysis. Agronomy.*

Bhatnagar P.R., Sharma B.R., (2002), Groundwater Pollution through Agricultural Practices and Agro Industries in India.

Γκίζας Β. Δημήτριος., (2003). Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας των συγκεντρώσεων φωσφόρου, pH και ηλεκτρικής αγωγιμότητας καλλιεργούμενων εδαφών της Ελασσόνας με χρήση γεωγραφικών πληροφοριακών συστημάτων (GIS).

Γούσιος Α. Βησσαρίων., (2006). Χωροταξική απεικόνιση των E.C., NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , ολικού αζώτου και φωσφόρου των εδαφών της περιοχής Αλμυρού Μαγνησίας με χρήση Τηλεπισκόπησης, D.G.P.S. και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

Cathcart.B.J., (1980). The Role of Phosphorus in Agriculture, Chapter 1. ASA-CSSA-SSSA, USA

Clough, P.W.L. (1983). Nitrates and gastric carcinogenesis. Mineral and the Environment 5, 947 – 959.

Codling, E. E., R. L. Chaney and C. L. Mulchi, 2000. Use of aluminum- and iron-rich residues to immobilize phosphorus in poultry litter and litter-amended soils. J. Environ. Qual. 29. pp. 1924-1931

Cole, V., C. Cerri, K. Minami, A. Mosier and N. Rosenberg, (1996). Agricultural options for mitigation of greenhouse gas emissions.pp 745 – 771. In R.T. Watson et al (eds): Climate Change. 1995. Impacts adaptations and mitigation of climate change: Scientific – technical analysis. Cambridge Univ. Press, Cambridge, U.K.

Colwell, Robert N., (1997). History and Place of Photographic Interpretation, p. 3-47. In Manual of Photographic Interpretation, Second Edition, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.

Corwin, D. L., G.Sabine and D.Anne, 1999. Evaluation of a Functional Model for Simulating Boron Transport in Soil. Lippincott Williams & Wilkins, Inc.10. pp. 697-717.

Dalal, R.C., (1977). Soil organic phosphorus. Adv. Agron. 29: 83-117.

Dalal, R.C., Hallsworth, E.G., (1976). Evaluation of the parameters of soil phosphorus availability factors in predicting yield response and phosphorus uptake. Soil Sc. Plant An. J. 40: 541-545.

Daniel, T. C., A. N. Sharpley and J. L. Lemunyon, 1998. Agricultural phosphorus and eutrophication: A symposium overview. J. Environ. Qual. 27. pp. 251-257.

Deak, S. (1985). Quoted in WHO (1985). Health Hazards from nitrates in drinking water. Report on a WHO meeting. Copenhagen 5 – 9 March, 1984.

Dible, W.T., E. Truog and K.C. Berger, 1954. Boron determination in soils and plants. *Anal. Chem.* 26. pp. 418-421

Duncan C., Li Hong, R. Frazer, P. Johnston, G. MacNight, L. Smith, Lamza Kathryn, H. McKenzie, Les Batt, D. Kelly, Golden M N. Benjamin, and C.

John, M.K., H.H. Chuah and J.H. Neufend, 1975. Application of improved azomethine-H method to the determination of boron in soils and plants. *Anal. Lett.* 8. pp. 559-568.

Johnston Kevin, Ver Hoef M. Jay, Krivoruchko Konstantin, Lucas Neil, (2001). Using ArcGIS Geostatistical Analyst, GIS by ESRI.

Juergens – Gschwind S., 1989. Ground water nitrates in other developed countries (Europe) – Relationships to land use patterns. pp 75 – 138 in: Follet., RF. (ed). Nitrogen Management and Ground Water Protection. Developments in Agricultural and Management – Forest Ecology 21. Elsevier, Amsterdam – Oxford – New York – Tokyo.

Θεοχαρόπουλος, Σ. Π., Παπαδόπουλος, Ν., και Παπαδήμος, Γ., 1992. Διαχείριση Βάσης Εδαφολογικών Δεδομένων (SOILDB). *Γεωργική Έρευνα* 16: 1-12.

Kamparth, E.J. and Watson, M.E., 1980. The Role of Phosphorus in Agriculture, Chapter 16. ASA-CSSA-SSSA, USA.

Keren, R., F.T. Bingham and J.D. Rhoades, 1985. Plant uptake of boron as affected by boron distribution between liquid and solid phases in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49. pp. 297–302.

Keren, R. and G.A. O'Conner, 1982. Effect of exchangeable ions and ionic strength on boron adsorption by montmorillonite and illite. *Clays Clay Miner* (30). pp. 341–346.

Keren, R. and D.L. Sparks, 1994. Effect of pH and ionic strength on boron adsorption by pyrophyllite. *Soil Sci. Soc. Am. J.* (58). pp. 1095–1100.

Khiari, L., L. E. Parent, A. Pellerin, A. R. A. Alimi, C. Tremblay, R. R. Simard and J. Fortin, 2000. An agr-environmental phosphorus saturation index for acid coarse-textured soils. *J. Environ. Qual.* 29. pp. 1561-1567.

Κόλλια – Κουσούρη Β. Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα – Σημειώσεις Διδασκαλίας, Αθήνα, 2004.

Larsen, S. 1967. Isoionic exchange of phosphate in paddy soils. *Plant and Soil* 25, 401-407.

Larsen, S., Gunary D., Sutton, C.D., 1965. The rate of immobilization of applied phosphate in relation to soil properties. *J. Soil Sci.* 16: 142-148.

Larsen, S., Parton, D.J., Svensson, Inga-Lisa, 1963. Reaction between monocalcium phosphate and calcium carbonate. *Nature* 197:317, In F.E. Khasawneh et al. (ed.) *The Role of Phosphorus in Agriculture*, ASA-CSSA-SSSA, USA.

Lindsay, W.L., Frazier, A.W., Stephenson, H.F., 1962. Identification of reaction products from phosphate fertilizers in soils. *Soil Sc. Soc. Am. Proc.* 26: 446-452. In F.E. Khasawneh et al. (ed.) *The Role of Phosphorus in Agriculture*, ASA-CSSA-SSSA, USA.

MAFF., 1988. *Fertilizer Recommendations*. Reference Book 209. HMSO, London.

Maguire, R. O., J. T. Sims and F. J. Coale, 2000. Phosphorus solubility in biosolids-amended farm soils in the Mid-Atlantic region of the USA. *J. Environ. Qual.* 29. pp. 1225-1233.

Maguire, R. O., J. T. Sims, S. K. Dentel, F. J. Coale and J. T. Mah, 2001. Relationships between biosolids treatment process and soil phosphorus availability. *J. Environ. Qual.* 30. pp. 1023-1033.

Mc Lean E.O. 1982. Soil pH and lime requirements. pp 199 – 224. In *Methods of soil analysis*. Eds. Al Page et al., Part 2. 2nd edition. Agronomy. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.

Μέρμηγκας Ε. Δημήτριος, (2003). Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας και εκτίμηση του βαθμού ρύπανσης των εδαφών της περιοχής Ελασσόνας από νιτρικά ιόντα.

Methods of Soil Analysis , 1994.

Μήτσιος Κ. Ιωάννης, (2004). “Γονιμότητα Εδαφών, Θρεπτικά στοιχεία φυτών (μακροθρεπτικά, μικροθρεπτικά) και Βαρέα Μέταλλα – Μέθοδοι και εφαρμογές”. Βόλος . Εκδόσεις Zymel

Μήτσιος Κ. Ιωάννης, (2000). Εδαφολογική μελέτη και εδαφολογικός χάρτης του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στην περιοχή του Βελεστίνου. Αθήνα 2000.

Μήτσιος Κ. Ιωάννης, (1999). Εδαφολογία 2^η Έκδοση.

Μήτσιος Ι. Κ., Π. Κουκουλάκης, Χ. Πασχαλίδης, Ε. Γκατζογιάννη, Ι. Μπριασούλη, Αρ. Παπαδόπουλος και Α. Γκέρτσης, 1996. Ισοζύγιο αζώτου σε καλλιέργεια καλαμποκιού. 6^ο Πανελλήνιο Εδαφολογικό Συνέδριο, Ναύπλιο, 29/5 – 1/6/1996. Πρακτικά Τόμου Β, 552 – 563.

Μήτσιος, Ι.Κ., (1994). Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση λιπασμάτων στις καλλιέργειες. Πανεπιστημιακή έκδοση, Βόλος.

Μήτσιος, Ι.Κ., 1996. Αλατούχα και Αλκαλιωμένα (με Νάτριο) Εδάφη. Ποιοτική Κατάταξη των νερών Άρδευσης. Αθήνα.

Μήτσιος, Ι.Κ., 1999. Εδαφολογία, Εκδόσεις Zymel

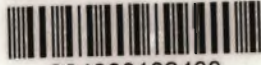
Μήτσιος, Ι.Κ., 2000. Σύγχρονες τάσεις της εδαφολογικής επιστήμης. Ποιότητα εδάφους, GIS, τηλεπισκόπηση, διαχείριση εδαφικών πόρων. Πρακτικά ημερίδας Εδαφολογικοί χάρτες του Ν. Λάρισας. Λάρισα.

Wagner, G., Lisher, P., Theocharopoulos, S.P., Muntau, H., De saules, A., Quevauviller Ph., 2001. Quantitative Evaluation of the CEEM soil sampling Intercomparison. The Science of the total Enviroment, special issue, Vol. 264. Nos. 1-2 . 73-101.

Τζώρτζιος Ι. Στέργιος, (1997). Εισαγωγή στον γεωργικό πειραματισμό. Βόλος.

Φλωράς Σταμάτης (2004). Παραδόσεις του μαθήματος Γεωγραφικά συστήματα Πληροφοριών. Βόλος.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000102433

